الجمهورية العربية السورية
جامعة البعث
كلية الهندسة الكيميائية والبترولية
قسم الهندسة الكيميائية
اختصاص التلوث وحماية البيئة

الحد من توسخ أغشية تحلية المياه بالتناضح العكسي

رسالة لنيل درجة الدكتوراه في الهندسة الكيميائية

إعداد المهندس الكيميائي
أحمد فراس علوش

المشرف المشارك
الأستاذ المساعد الدكتور ناصر النايف

المشرف العلمي
الأستاذ الدكتور سعد الدين خرفان

2011م

كلـمـة شــكر

الحمد والشكر لله الذي أنعم علي بالعلم وأعانني عليه ووفقني لإتمام هذا العمل. لابد لي في نهاية عملي من أن أتقدم بخالص الشكر والامتنان لكل من:

الأستاذ الدكتور سعد الدين خرفان

الأستاذ المساعد الدكتور ناصر النايف

اللذين أشرفا على رسالتي هذه ولم يدخرا جهداً في تقديم التوجيهات اللازمة لإنجاح هذا العمل.
كما أتقدم بالشكر لكل من ساهم معي لإنجاح عملي هذا وأخص بالشكر العاملين في شركة زيزون لتوليد الطاقة الكهربائية، و العاملين في كلية الزراعة بادلب.

كما أتقدم بالشكر لرئاسة جامعة البعث وعمادة كلية الهندسة الكيميائية والبترولية وقسم الهندسة الكيميائية لكل ما قدموه من مساعدة في تأمين التجهيزات والمخابر لإنجاز هذا العمل.

كما أتقدم بالشكر الجزيل لكل الزملاء والزميلات ولكل من ساهم بشكل مباشر أو غير مباشر في إنجاز هذا العمل .



أحمد فراس علوش

تصريــح

أصرح بأن هذا البحث **(الحد من توسخ أغشية تحلية المياه بالتناضح العكسي)** لم يسبق أن قبل للحصول على أية شهادة ولا هو مقدم حالياً للحصول على شهادة أخرى.

تاريخ / /2011 م

المهندس المرشح

أحمد فراس علوش

DECLARATION

It is hereby declared that this work **"Limitation of water desalination membranes fouling of reverse osmosis"** has not already been accepted for any degree, nor is it being submitted currently for any other degree.

Date / / 2011 A.D

Candidate

AHMAD FIRAS ALLOUSH

شــهادة

أشهد بأن هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة هو نتيجة بحث قام به المرشح المهندس أحمد فراس علوش تحت إشراف الدكتور سعد الدين خرفان والدكتور ناصر النايف في قسم الهندسة الكيميائية في كلية الهندسة الكيميائية والبترولية بجامعة البعث . وأي رجوع إلى بحث آخر في هذا الموضوع موثق في النص.

المرشح المهندس	المشرف المشارك	المشرف العلمي
أحمد فراس علوش	د. ناصر النايف	أ.د. سعد الدين خرفان

التاريخ / /2011 م

CERTIFICATE

It is hereby certified that the work described in this thesis is the result of the author's own investigation Eng. Alloush Ahmad Firas under the supervision of Dr Nassir Alnaif & prof. Dr. Sadeddin Kherfan in the department of Chemical Engineering, Faculty of Chemical and Petroleum Eng., Al-baath University, and any reference to other researchers works has been duly acknowledged in the text.

Eng. Chem.	Supervisor	Supervisor
Ahmad Firas Alloush	Dr. Nassir Alnaif	Pro.Dr. Sadeddin Kherfan

قدمت هذه الدراسة استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الدكتوراه في الهندسة الكيميائية اختصاص التلوث وحماية البيئة، في قسم الهندسة الكيميائية في كلية الهندسة الكيميائية والبترولية بجامعة البعث .

المرشح المهندس

أحمد فراس علوش

This thesis is submitted for the degree of ph. Dr., in Chemical Engineering (Pollution and Environment Protection)at Faculty of Chemical & Petroleum Eng., AL-BAATH UNIVERSITY.

Eng. Chem.

Ahmad Firas Alloush

لقد تم تصحيح الأخطاء ومراعاة كافة ملاحظات لجنة التحكيم وعليه نوقع:

الأستاذ الدكتور سعد الدين خرفان

الأستاذ الدكتور فؤاد فارس مراد

الأستاذ الدكتور رياض كاسوحة

الأستاذ الدكتور محمد هلال

الدكتور محمد وجيه عيسى

الفـهـرس

القسم النظري

المختصرات العلمية

المختصر	الانكليزي	العربي
RO	Reverse Osmosis	التناضح العكسي
EC	Electro coagulation	التخثير الكهربائي
SDI	Silt Density Index	دليل كثافة الطمي
MF	Micro Filtration	الأغشية الميكروية
UF	Ultra Filtration	أغشية الترشيح الفائق
NF	Nano Filtration	الأغشية النانوية
PWF	Pure water flux	معدل العبور النوعي للماء النقي
TDS	Total Dissolved Solids	كمية الأملاح المنحلة
TSS	Total Suspended Solids	المواد المعلقة الكلية
T^o	Temperature	درجة الحرارة
Cond.	Conductivity	الناقلية الكهربائية
Turb.	Turbidity	الكعارة
WTT	Wastewater Treatment Technologies	تقنيات معالجة المياه
ppm	Parts Per Million	جزء في المليون
I	Electrical Current	شدة التيار الكهربائي
i	Current Density	كثافة التيار الكهربائي
D	The Distance between Electrodes	المسافة بين القطبين
NTU	Nuflumetric Turbidity Unite	وحدة قياس درجة العكارة
TH	Total Hardness	القساوة الكلية
FI	Fouling Index	دليل التوسخ
LFC	Low Fouling Membrane Technology	تكنولوجيا الأغشية المقاومة للتوسخ
BW30FR	Brackish water fouling resistance	أغشية مقاومة للتوسخ البيولوجي
FDA	Food and Drug Administration	إدارة الأغذية والأدوية
GAC	Granular Activated Carbon	حبيبات الفحم الفعال

الملخص بالعربي

تعتبر المعالجة الأولية لمياه تغذية محطات التحلية بالتناضح العكسي من أهم العوامل التي تتحكم بتوسخ الأغشية. لذلك فكلما كانت المعالجة أكثر فاعلية كان التوسخ عند حده الأدنى. وتتألف المعالجة الأولية التقليدية من المعالجة الفيزيائية، حيث تمر مياه التغذية عبر الفلاتر الرملية والكربونية والميكرونية، وذلك لإزالة العوالق والشوائب ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها على الأغشية. وكذلك المعالجة الكيميائية، حيث يتم إضافة بعض المواد الكيميائية مثل الحمض لضبط الـ pH والكلور للتعقيم ومواد كيميائية أخرى لمنع ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنيزيوم وإزالة المواد المؤكسدة. يتم اختيار وترتيب مخطط محطة تحلية المياه، ونوع المنشآت فيها وفقاً لمتطلبات المستهلك لنوعية المياه ومواصفاتها. وهذا الأمر يتحدد بالاعتماد على المقارنة (التقنية الاقتصادية) لمجموعة الاحتمالات الممكن استخدامها لعملية المعالجة المطلوبة.

تعد ظاهرة التوسخ وتشكل الطبقة الغليظة على سطح الأغشية أثناء عمليات المعالجة من الأمور المعقدة والتي تدخل فيها مؤثرات متعددة تختلف حسب نوع المعالجة وآليتها، ولذلك هناك عدة طرق يمكن استخدامها لتخفيض توسخ الأغشية لأنه من غير الممكن منع هذه الظاهرة نهائياً، فمن الممكن دمج هذه العمليات في عمليات يمكن إجراؤها على التغذية أو على مواصفات الغشاء أو على نوع الغشاء.

فمن الممكن تخفيض توسخ أغشية RO عن طريق معالجة أولية للمياه الداخلة للعملية بحيث تزال الأجسام الصلبة من المياه قبل دخولها إلى أغشية RO عن طريق ترشيحها عبر مرشحات ذات مسامات صغيرة أو عن طريق ترشيحها في مرشحات ميكروية MF أو فائقة UF. وفي بعض الحالات يمكن امتزاز هذه المكونات عن طريق إمرارها على الفحم الفعال. ومن الممكن أيضاً تخفيض توسخ الأغشية البيولوجي عن طريق معالجة المحلول الداخل بتغيير درجة الحموضة pH أو بالكلورة لقتل الأحياء الدقيقة التي قد تسبب التوسخ البيولوجي. ومن ثم إضافة مواد مختلفة لتخفيض نسبة المواد المؤكسدة والكلور في مياه التغذية الداخل إلى الأغشية.

يعتبر التخثير الكهربائي طريقة فعالة وخياراً بديلاً في معالجة المياه، حيث يمكن اعتماده في معالجة المياه نظرا للكفاءة العالية التي يحققها في إزالة عدد كبير من الملوثات.

هناك العديد من الأبحاث التي أجريت لدراسة فاعلية هذه الطريقة في إزالة المواد المعلقة والغرويات والعكارة من المياه السطحية، ومياه الصرف، كما استخدمت بكفاءة في معالجة مياه

الصرف الصناعية. ومن أهم ميزات هذه الطريقة هي عدم زيادة ملوحة المياه الخام الداخلة لمحطة التناضح العكسي. إن لطريقة التخثير الكهربائي العديد من الميزات، نذكر منها ما يلي:

1- تكاليف إنشاء وتشغيل منخفضة، وهي تحتاج مساحات صغيرة لإنشائها.
2- لا نحتاج لإضافة مواد كيميائية مخثرة.
3- إن حجم الرواسب الناتجة صغير، وهو أقل بنسبة (2-3) مرات من حجم الرواسب الناتجة عن المعالجة بطريقة التخثير الكيميائي.
4- هذه الطريقة لا تؤدي لزيادة كمية الشوارد المعدنية المنحلة في المياه المعالجة.
5- تبين انه يتحرر غاز الكلور نتيجة التفاعلات الجارية ضمن مفاعل التخثير الكهربائي، ومن المعروف انه معقم قوي للمياه.
6- تحقيق كفاءة عالية في المعالجة حيث تزيل عددا كبيرا جدا من الملوثات.

وتعتبر المواد الصلبة المعلقة والمواد الغروية في مياه التغذية إحدى أكبر المشاكل التي تحدث في منظومات التناضح العكسي. وبالرغم من أن معظم منظومات التناضح العكسي تملك معالجة أولية من ضمنها فلتر بمسام 5 ميكرون إلا أن الجزيئات الأصغر هي التي تسبب توسخ الأغشية. إن قيمة الـ SDI تكون مطلوبة أن تكون < 3 %/دقيقة بسبب طبيعة المواد الصلبة المعلقة في مياه التغذية. كما أنه مطلوب من أجل ضمان الأغشية من قبل البائع.

أظهرت النتائج أن الطريقة الجديدة في المعالجة قد أعطت قيماً أقل لدليل كثافة الطمي الـ SDI مع تفوق واضح على الطريقة التقليدية، حيث وصلت قيم الـ SDI إلى 1.4 %/min - 2.6 بينما كان دليل كثافة الطمي في الطريقة التقليدية الـ SDI إلى 2.6 %/min - 3.95 علماً أن دليل كثافة الطمي لمياه التغذية الخام بحدود SDI = 40 %/min. إن انخفاض قيم دليل كثافة الطمي الـ SDI مؤشر رئيسي على ازدياد كفاءة وحدة التناضح العكسي وانخفاض عدد مرات استبدال واستهلاك الفلاتر الميكرونية. وكذلك انخفاض عدد مرات غسيل الأغشية. والعنصر المهم الرئيسي هو إطالة عمر الغشاء وتخفيض استهلاكه للحد الأدنى.

إن إضافة مرحلة التخثير الكهربائي مع مرشح مادة البيرم في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي له تأثير إيجابي كبير في تحسين فاعلية وكفاءة الوحدة وإطالة عمر الغشاء.

Chapter One الفصل الأول

هدف البحث وأهميته

Aim and Importance of the Work

1-1: مقدمة:

ليس من السهل تعريف الماء بمعزل عن الطاقة، فالماء يكون في حالة غازية أو سائلة أو صلبة حسب طاقته الحرارية، ويكون في حالة جزيئية أو شاردية حسب طاقته الكهربائية. وتختلف الطاقة الحركية في المياه من سيول وفيضانات مدمرة إلى ماء ساكن. ويتأثر الماء ويؤثر بطريقة فاعلة على كل ما نعرف من أشكال الطاقة الميكانيكية والحرارية والكهروكيماوية والضوئية. ويعتبر الماء من أهم مصادر توسخ أغشية التناضح العكسي، لذلك تحتاج مياه تغذية محطات التناضح العكسي لمعالجة أولية بهدف تخفيض دليل كثافة الطمي إلى SDI< 3 %/min وهذا يتطلب عناية كبيرة وفائقة بطريقة المعالجة الأولية، وذلك لضمان أطول عمر ممكن لأغشية التحلية. يعتبر التخثير والتنديف من الطرق التقليدية لمعالجة المياه الخام، أما الآن فيعتبر التخثير الكهربائي طريقة فعالة وجديدة وخياراً بديلاً. يتم فيه تقديم معدن القطب الموجب (المصعد) عادة شوارد الحديد أو الألمنيوم للماء بشكل كهروكيميائي مستمر ويصاحب التفاعلات الشاردية انطلاق فقاعات الهيدروجين عند القطب السالب (المهبط). ومن أهم ميزات هذه الطريقة هي عدم زيادة ملوحة المياه الخام الداخلة لمحطة التناضح العكسي [3, 2, 1].

يعد توفر المياه من أجل العمليات الصناعية ذا أهمية حيوية ومن أهم عوامل نجاح هذه الصناعات. ولذلك فإن ندرة المياه تعتبر من المشاكل في العديد من الأماكن والتي يجب التغلب عليها. وبالرغم من توفر المياه بشكل كبير في أوروبا بشكل عام فإن بعض الدول تحاول استغلال المياه بشكل جيد وعدم هدر كميات كبيرة من المياه. وكمثال على ذلك أجريت دراسة في هولندا لاستخدام المياه السطحية كمياه للعمليات الصناعية بعد معالجتها بالأغشية بسبب زيادة تكاليف تأمين المياه اللازمة للصناعة من المياه الصالحة للشرب. علماً أن المياه الصالحة للشرب متوفرة ولكن بنسبة قليلة ولا يمكن استخدامها للصناعة مع حاجة الإنسان الشديدة إلى هذه المياه، بالإضافة إلى صعوبة استغلال المياه الجوفية. لذلك تم اللجوء إلى تطبيق نظام التناضح العكسي RO لمعالجة المياه السطحية المتوفرة بشكل جيد لتأمين حاجة الصناعة. تعتبر عملية

التناضح العكسي من أكثر الطرق المتبعة حديثاً في محطات تحلية المياه لنزع أملاح المياه المالحة غير الصالحة للشرب لتحويلها لمياه صالحة للشرب.

ومن أهم العوائق أمام عمل هذه المحطات هو توسخ Fouling أغشية التحلية. وهذا ما يسبب الخسائر المادية الكبيرة حيث يؤدي لانخفاض الإنتاجية والجودة للمياه المنتجة من المحطة، كما أنه يستدعي عمليات معالجة مكثفة لهذه الأغشية وكثيراً من الأحيان استبدال هذه الأغشية بأخرى جديدة وهذا ما يزيد من تكاليف تشغيل المحطة وصيانتها.

1-2: هدف البحث:

يهدف البحث إلى المساهمة الفعالة مع الأبحاث الأخرى في العالم العاملة في هذا المجال لتأمين أفضل الشروط لوقاية أغشية التحلية والحد من توسخها، بأفضل الطرق وأكثرها اقتصادية، حيث تم في هذا البحث اختيار طريقة التخثير الكهربائي Electro coagulation EC في المعالجة الأولية لمياه تغذية محطات التحلية بالتناضح العكسي. وذلك بهدف زيادة عمر أغشية التحلية ليصل للعمر الافتراضي، كما أن سلامة الأغشية يحسن من مردود المياه المنتجة ونوعيتها في محطات تحلية المياه بالتناضح العكسي.

1-3: أهمية البحث:

1- الأهمية البيئية: إن وقاية أغشية التحلية من التوسخ يؤدي إلى تقليل عدد مرات غسيل هذه الأغشية ومعالجتها، وبالتالي تقليل كمية المواد الكيميائية المستخدمة في تنظيف الأغشية والمصروفة إلى البيئة المحيطة وهذه المواد غالباً ما تكون مواداً ضارة على البيئة.

2- الأهمية الاقتصادية: حيث أن تكلفة استبدال أغشية التحلية يعتبر مكلفاً اقتصادياً حيث أنه يستورد من الخارج بتكاليف كبيرة تزيد من كلفة المتر المكعب من المياه المنتجة. وبالتالي فإن إطالة عمر أغشية التحلية في محطات تحلية المياه إلى العمر الافتراضي والذي يتراوح من ثلاث إلى خمس سنوات ذو مردود اقتصادي كبير. حيث يتم تقليل تكلفة إنتاج المتر المكعب من المياه، وتوفير في القطع الأجنبي.

3- الأهمية الصحية: إن توسخ أغشية التحلية جرثومياً يجعلها مستنبتاً لهذه الجراثيم، وبالتالي مصدر خطر كبير على صحة الإنسان. لذلك كان العمل على وقاية هذه الأغشية من التلوث الجرثومي يعتبر عملاً هاماً لمنع انتقال الجراثيم للإنسان عبر مياه الشرب المنتجة من محطات تحلية المياه بالتناضح العكسي.

الفصل الثاني Chapter Two

توسخ أغشية التناضح العكسي

Reverse Osmosis Membranes Fouling

2-1: مقدمة:

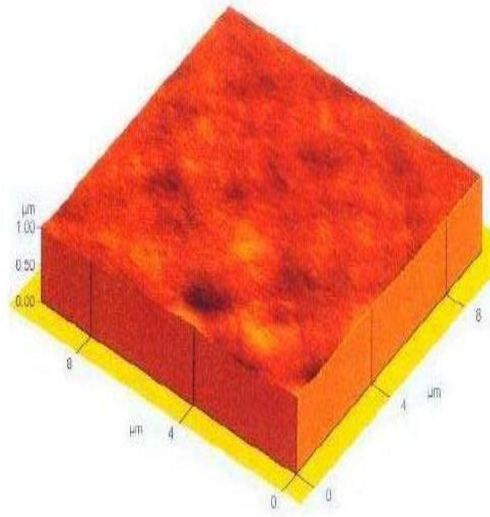
تعتبر عملية التناضح العكسي حديثة بالمقارنة مع عمليتي التقطير والديلزة حيث تم تقديمها تجارياً خلال السبعينات من القرن الماضي، علماً بأن العالم العربي أبو الريحان البيروني (973-1048م) كان أول من فكر في استخدام الأغشية نصف النفوذة للحصول على مياه عذبة من الماء المالح [4]. وتعرف عملية التناضح العكسي على أنها عملية فصل الماء عن محلول ملحي مضغوط من خلال غشاء. ولا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل، لكن الطاقة المطلوبة للتحلية هي لضغط مياه التغذية فقط.

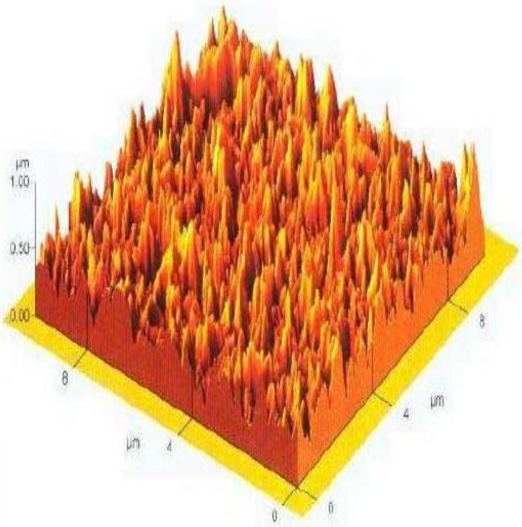
2-2: الأغشية ومبدأ عملها [6, 5]:

2-2-1: أنواع الأغشية: تعد عملية المعالجة بالأغشية من عمليات الفصل الميكانيكية ويختلف مجال استخدامها عن الترشيح العادي بحجم الجزيئات والمحاليل التي يمكن فصلها وتقسم إلى:

1- النوع المسامي: يعين حد الفصل بالنسبة لهذه الأغشية حسب تابع تدرج كبر مسامها وتشمل الأغشية الميكروية MF Micro Filtration وأغشية الترشيح الفائق Ultra Filtration UF وتستخدم في حساباتها علاقات مشابهة لحسابات الترشيح العادي حسب قانون دارسي وهاغن برنوللي. وفي هذه العملية يتم فصل المزائج والمحاليل على أساس الفرق في درجة انتشار المركبات Diffusion وسرعة انحلالها Solubility في الغشاء، وبالتالي تلعب الخواص الفيزيائية والكيميائية للمركبات والمواد المراد فصلها، بالإضافة إلى مواصفات الغشاء المستخدم وشروط العمل، الدور المحدد لعبور هذه المركبات من خلال الغشاء.

2- النوع اللامسامي: تستخدم الأغشية لفصل المواد المنحلة مثل الأملاح والجزيئات والشوارد ومثالها أغشية التناضح العكسي RO Reverse Osmosis. ولحساب كمية الراشح في هذه الأغيشة يستخدم نموذج الانحلالية ومعامل النفوذية في طبقة الغشاء حسب قانون فيك الأول.





سطح غشاء RO مصنع من خلات السيليلوز. **سطح غشاء RO مصنع من البولي أميد.**

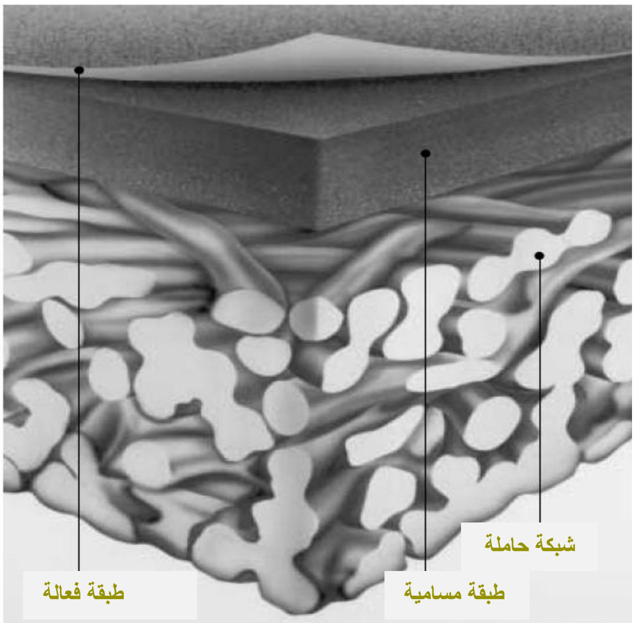
الشكل (2-1): صورة طبوغرافية لسطح غشاء التحلية بالتناضح العكسي [6].

2-2-2: مبدأ عمل أغشية التناضح العكسي: ومن الناحية التطبيقية يتم ضخ مياه التغذية في وعاء مغلق حيث يضغط على الغشاء، وعندما يمر جزء من الماء عبر الغشاء تزداد محتويات الماء المتبقي من الأملاح. وفي نفس الوقت فإن جزءاً من مياه التغذية يتم التخلص منها دون أن يمر عبر الغشاء. وبدون هذا التخلص فإن الازدياد المضطرد لملوحة مياه التغذية سوف يتسبب في مشاكل كثيرة، مثل زيادة الملوحة والترسبات وزيادة الضغط الأسموزي عبر الأغشية. وتتراوح كمية المياه المتخلص منها بهذه الطريقة ما بين 20 إلى 70% من مياه التغذية اعتماداً على كمية الأملاح الموجودة في مياه التغذية. ومن أكثر أغشية التناضح العكسي نجاحاً بشكل تجاري في تحلية المياه هي الأغشية الحلزونية Spiral Wound. حيث يصنع الغشاء من ثلاث طبقات كما هو موضح في الشكل (2-2) والشكل (2-3) وهي [8, 7]:

1- الطبقة الفعالة نصف نفوذة من البولي أميد 0.2 μm.

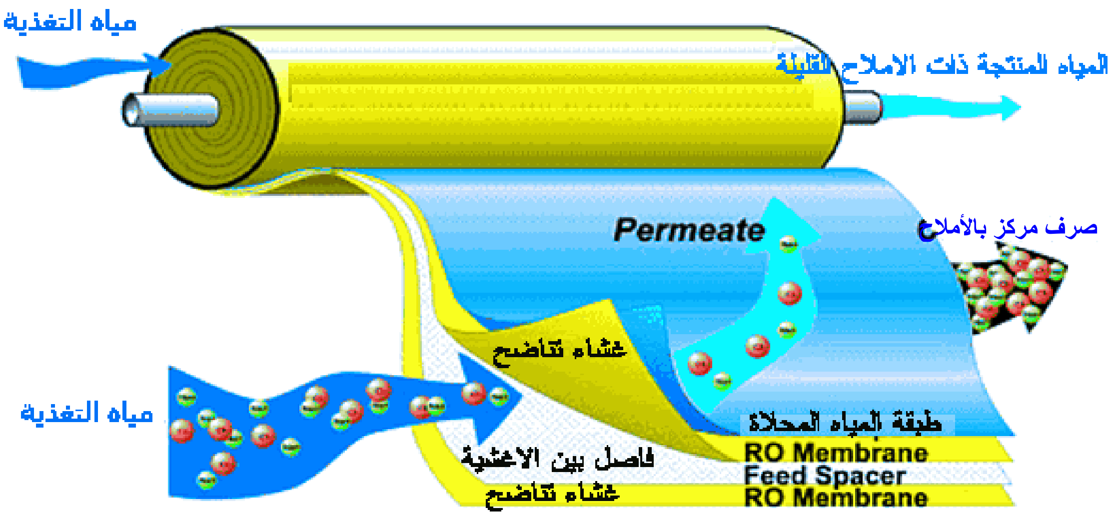
2- طبقة مسامية من البولي سلفون 40 μm .

3- شبكة حاملة من البولي استر 120 μm.



الشكل (2–2): تركيب غشاء التحلية بالتناضح العكسي.

والأغشية نصف النفوذة قابلة للتكسُّر، وتختلف في مقدرتها على مرور الماء العذب وحجز الأملاح. وليس هناك غشاء محكم إحكاماً كاملاً في طرد الأملاح، ولذلك توجد بعض الأملاح في المياه المنتجة. وتصنع أغشية التناضح العكسي من أنماط مختلفة أشهرها الأغشية الحلزونية. يستخدم هذا النوع لتحلية كل من مياه الآبار ومياه البحر على الرغم من اختلاف تكوين الغشاء الإنشائي ووعاء الضغط اعتماداً على المصنِع وملوحة الماء المراد تحليتها[9].



الشكل (2–3): كيفية عبور الماء خلال غشاء التحلية بالتناضح العكسي [9, 7].

يمكن تحديد المردود لكل أنواع الأغشية حسب الخواص التالية [10]:

1- نسبة الحجز Retention : وهو يمثل نسبة ما يحتجزه الغشاء من هذا المركب، ويعد من أهم العوامل اللازمة لوصف عملية الفصل لأحد المركبات أو لمجموعة مركبات من مزيج المركبات ومن الممكن تحديده على أساس أحد تسميات التركيز لهذا المركب. وعادة ما يكون التركيز الوزني، وهو عبارة عن نسبة فرق تركيز المركب ما بين المتبقي والراشح منسوباً إلى تركيز المركب في المتبقي ويعطى وفق العلاقة:

$$R = \frac{C_R - C_P}{C_R} \times 100\% \qquad (2\text{-}1)$$

R نسبة الحجز %.

C_R : تركيز المركب في تيار المتبقي.

C_P: تركيز المركب في تيار الراشح.

في بعض الأحيان يمكن نسب معدل الحجز إلى التركيز في تيار التغذية وفق العلاقة:

$$R = \frac{C_F - C_P}{C_F} \times 100\% \qquad (2\text{-}2)$$

C_F: تركيز المركب في تيار التغذية.

2- معدل العبور Flux: وهو كمية المائع التي تعبر واحدة السطح من الغشاء خلال واحدة الزمن وتعطى عادة بواحدة L/m^2h. وفي بعض الأحيان يتم تحديد الضغط الذي يتم عنده العمل وتعطى واحدته على النحو $L/m^2.h.bar$ ويعطى وفق العلاقة:

$$F = \frac{Q_P}{A_M} \qquad (2\text{-}3)$$

حيث: F: تمثل معدل العبور $L/m^2.h$.

Q_p: معدل تدفق الراشح L/h.

A_M: مساحة سطح الغشاء m^2.

ومن العوامل المهمة قياس معدل العبور النوعي للماء النقي PWF (Pure water flux). وهو عبارة عن كمية الماء الراشح بالنسبة لواحدة السطح والزمن عند تطبيق فرق ضغط مقداره 1bar عند درجة الحرارة لتيار التغذية المراد ترشيحه (الماء المقطر) 25°C. ويعد هذا العامل من

العوامل الأساسية لاختبار التغيرات التي تطرأ على الغشاء وأيضاً لدراسة مدى نجاح عملية الغسيل للأغشية [11].

3- الانتقائية Selectivity: وتمثل نسب الفروق في سرعة عبور المركبات المختلفة خلال الغشاء. وتعتمد على طبيعة المكونات إضافة إلى الغشاء نفسه، خاصة في الترشيح الدقيق (NF). ويمكن تحديدها عن طريق نسبة تركيز مركب ما بالنسبة لمركب آخر في تيار التغذية وتيار المتبقي ويحسب وفق العلاقة:

$$S = \frac{C_{i,p}/C_{i,f}}{C_{j,p}/C_{j,f}} \qquad (2\text{-}4)$$

$C_{i,p}$: تركيز المركب i في تيار الراشح.

$C_{i,f}$: تركيز المركب i في تيار التغذية.

$C_{j,p}$: تركيز المركب j في تيار الراشح.

$C_{j,f}$: تركيز المركب j في تيار التغذية.

يجب أن تتمتع الأغشية المثالية ذات المردود المرتفع بمعدل عبور مرتفع وانتقائية مرتفعة. لكن هذا نظرياً غير ممكن حيث أن الأغشية ذات الانتقائية المرتفعة تتميز بمعدلات عبور متوسطة أو منخفضة.

وبالرغم من معرفة الأسس النظرية التي تعمل بها الأغشية نصف النفوذة وإثبات العلاقات النظرية تجريبياً للعديد من الحالات. إلا أن الحسابات النظرية عادة غير دقيقة ولا يتم تصميم وحدات الأغشية إلا بعد إجراء التجارب العملية على النظام المطلوب معالجته، لأن وجود بعض الشوائب في النظام قد يؤثر بشكل كبير على الأداء.

2-2-3: مقارنة بين الترشيح العادي والترشيح الغشائي [10]:

الترشيح: هو عملية فصل المواد الصلبة الموجودة في محلول ما عن مائع بواسطة وسط ذي ثقوب يحجز المواد الصلبة بينما يمر المائع فيه.

في الترشيح العادي تكون الثقوب أكبر من الجزيئات الصلبة المراد احتجازها ولذلك فإن المرشح يعمل بشكل أفضل بعد أن تتوضع عليه كعكة أو طبقة من المواد الصلبة وبعد أن تحتجز بعضاً

من هذه المواد الصلبة ضمن مساماته مع مراعاة عدم زيادة معدل الترشيح والسماح للجزيئات أن تتوضع بشكل يسمح للمائع من العبور خلال وسط الترشيح.

في الترشيح الغشائي تكون الأغشية إما متناظرة أي أن فتحات (مسامات) الغشاء متساوية من الطرفين أو قد تكون الثقوب متزايدة باتجاه سطح الراشح مما يخفض من إمكانية توسخ الغشاء ويخفض المقاومة الهيدروليكية. كما أن تشكل كعكة على سطح أغشية الترشيح تزيد من المقاومة لعبور الراشح.

2-2-4: أهم الأمور الواجب توفرها في الغشاء [12, 6]:

حتى تكون عملية الفصل ذات اقتصادية مناسبة وحتى يقوم الغشاء بعمله بشكل جيد للحصول على المنتجات المطلوبة بمواصفات جيدة يجب أن تتوفر عدة أمور في الغشاء ومنها:

1- رخص ثمن الغشاء: يجب أن تكون تكلفة الغشاء منخفضة وهذا يقلل من الكلفة الإجمالية للوحدة التي يتم إنشاؤها. وكذلك استخدام عدد أكبر من الأغشية وزيادة استطاعة الوحدة.

2- ارتفاع معدل الحجز: كلما زاد معدل الحجز للغشاء كلما كان الراشح أكثر نقاوة والراجع ذا تركيز أعلى، وهذا مطلوب سواء عندما نريد الحصول على راشح عالي النقاوة أو الحصول على مركز ذي تركيز مرتفع، حيث بزيادة معدل الحجز تزداد كمية الجزيئات الصلبة والمنحلة المحتجزة.

3- استمرار وثبات العبور النوعي للغشاء: ويعتمد ذلك على نوع المادة التي يصنع منها الغشاء والضغط الذي يتحمله ونوع التغذية التي يتم معالجتها.

4- الانتقائية: تتميز الأغشية بانتقائية عالية في فصل المركبات المختلفة، وذلك من أجل إمكانية استخدامها في تطبيقات متعددة حسب الهدف من العملية. وتتأثر الانتقائية بنوع مادة الغشاء وشكله.

5- العمل لفترة طويلة (عمر الغشاء): يجب أن يعمل الغشاء لفترة طويلة نسبياً. ويمكن الحفاظ على الغشاء ليعمل أطول فترة ممكنة عن طريق استخدامه عند الشروط المناسبة وفق المادة المصنوع منها ومدى تأثره بدرجات الحرارة والضغط والحموضة. إضافة إلى تنظيف الغشاء من فترة لأخرى. إن اختيار المادة المناسبة حسب التغذية التي يراد

معالجتها يعتبر أمراً مهماً لضمان العمر لفترة طويلة. مثلاً: الأغشية غير العضوية ذات عمر أطول من الأغشية العضوية. حيث يقدر عمر الأغشية العضوية حتى سنتين في حين أن عمر الأغشية اللاعضوية قد يزيد عن خمس سنوات.

6- **المقاومة الميكانيكية والحرارية ودرجة الحموضة:** أن يتمتع الغشاء بمقاومة ميكانيكية مناسبة لمقاومة فرق الضغط المطبق. وكذلك يجب أن يتحمل درجات الحرارة المختلفة التي يتعرض لها وفق العملية المطبقة. أما بالنسبة لدرجة الحموضة يجب اختيار نوع مادة الغشاء بحيث توافق درجة حموضة التغذية المستخدمة للحفاظ على خصائص الغشاء وضمان استمرار عمله.

7- **مقاومة التوسخ Resistance of Fouling:** أن تكون إمكانية تشكل التوسخ على الأغشية أقل ما يمكن. أي يجب عدم تأثر العبور النوعي للغشاء مع زمن التشغيل وعدم تأثير ذلك أيضاً على مقدار الفصل.

2-2-5: العوامل المؤثرة على كفاءة الأغشية:

يتأثر الغشاء بالعديد من العوامل والتي تؤثر على خواصه أو على خواص المنتجات النهائية.

يمكن اعتبار العوامل التالية كمؤشرات معتمدة لتحديد كفاءة الأغشية.

1- **نوعية الدخل Type of influent:** كلما زادت سرعة تدفق التغذية يزداد معدل الترشيح. وذلك لأن زيادة سرعة التدفق تؤدي إلى التقليل من سماكة الطبقة المتشكلة على الغشاء أثناء عملية الترشيح.

وعموماً كلما زادت نسبة المواد المعلقة أو الأملاح المنحلة قل التدفق. وكذلك في هذه الحالة لا يمكن تطبيق ضغط مرتفع خاصة في التناصح العكسي RO، وذلك بسبب إمكانية تشكل طبقة من الملوثات وبالتالي إمكانية توسخ الغشاء.

2- **درجة الحرارة temperature:** تطبق أغلب العمليات عند درجات حرارة مرتفعة وهذا يتطلب اختيار المادة المناسبة للغشاء. حيث تستخدم في مجالات مختلفة من درجات الحرارة. ويعتمد اختيار الغشاء من أجل درجات حرارة معينة على المادة المصنع منها. وبشكل عام يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى زيادة معدل الترشيح بسبب انخفاض لزوجة التغذية، وبالتالي معدل العبور للجزيئات أو زيادة معدل انتشارها، كما هو التناضح

العكسي RO. وكذلك يؤدي زيادة درجة الحرارة إلى زيادة مرونة الغشاء وهذا يقلل من المقاومة الهيدروليكية وبالتالي زيادة معدل العبور للجزيئات خلال مسامات الغشاء مما يؤدي إلى انخفاض انتقائية وانخفاض معدل الحجز.

3- **الضغط المطبق:** إن القوة الدافعة للعمليات الغشائية هي فرق الضغط بين سائل التغذية والسائل الراشح. وهو من أكثر العوامل المؤثرة على عمر الغشاء. حيث يزداد معدل الترشيح أو معدل العبور للجزيئات بزيادة فرق الضغط. ومع زيادة فرق الضغط يتزايد معدل الترشيح حتى يصبح مستقلاً عن الضغط. ويسمى هذا الضغط الحرج. والذي يمكن رفع قيمته بزيادة سرعة التدفق والتي تقلل من سماكة الطبقة المتشكلة على الغشاء حيث تقل المقاومة الهيدروليكية.

إن زيادة فرق الضغط المطبق قد يؤدي إلى توسخ الغشاء نتيجة وجود مواد قد تدخل في المسامات نتيجة الضغط المرتفع. وكذلك تؤدي هذه الزيادة في بعض الأغشية إلى انضغاط الغشاء وتشوهه وخصوصاً عند حدوث التوسخ غير العكوس والذي له أثر كبير على انخفاض التدفق. لذلك يجب اختيار نوع الغشاء المناسب من أجل الضغط المطبق. وهذه نقطة هامة يجب أخذها بعين الاعتبار.

ويعطى الضغط العامل بالعلاقة التالية:

$$P = (P_1 + P_2)/2 \qquad (2-5)$$

P_1: الضغط قبل الغشاء.

P_2: الضغط بعد الغشاء.

P: الضغط العامل.

4- **لزوجة التغذية:** تؤدي زيادة لزوجة التغذية إلى تقليل معدل الترشيح وخفض معدل العبور للجزيئات. وتؤدي زيادة لزوجة التغذية عن حد معين إلى تقليل التدفق نتيجة الاستقطاب التركيزي في الطبقات المتاخمة للغشاء.

5- **زمن الترشيح وزيادة التركيز:** لوحظ نتيجة عدة تجارب تناقص معدل الترشيح بشكل خطي مع مرور الزمن. وذلك نتيجة تزايد المقاومة الهيدروليكية لطبقة الجل المتشكلة على الغشاء، والتي تزداد سماكتها تدريجياً مع تقدم زمن الترشيح. ويعود ذلك أيضاً إلى

زيادة تركيز التغذية مع ارتفاع تركيز المواد الصلبة وهذا بدوره يؤدي إلى تناقص عبور جزيئات الراشح.

6- **تأثير pH:** تؤثر درجة الحموضة أو القلوية على عمل الغشاء، ومجال pH لأغلب الأغشية المستخدمة هو (2-8). ويكون استخدام درجات حموضة أعلى أو أخفض من المجال المحدد ممكناً عندما تكون عملية الاستبدال المتكرر للأغشية عملية اقتصادية. ويعتمد مجال pH للغشاء على نوع مادة الغشاء.

دفعت حساسية الأغشية لدرجة الحموضة pH خصوصاً أغشية التناضح العكسي RO الباحثين لإيجاد أغشية تناضح عكسي RO غير سليلوزية. ولقد تم تصنيع أغشية Nano Filtration NF من أكسيد الزركونيوم تعمل عند مجال pH = 0-14.

7- **تأثيرات الطبقة الجلاتينية:** يعد كبر مسامات الأغشية من أهم العوامل التي تحدد فعاليتها وإمكانية فصلها. فكلما صغرت المسامات ينخفض حجم الجسيمات التي يمكن فصلها، وفي الوقت ذاته تزداد مقاومة الغشاء مما يؤدي لانخفاض معدل العبور للراشح.

ومن العوامل ذات التأثير الفعال على عملية الترشيح هو تشكل طبقة ذات تركيز مرتفع على سطح الغشاء. وهذا يعود لترشيح جسيمات ذات أبعاد أكبر من المسامات على سطح الغشاء، مما يؤدي إلى زيادة تركيز المواد الصلبة عند سطح الغشاء. وباستمرار عملية الترشيح تتشكل طبقة ذات تركيز مرتفع، لأن الجسيمات لا يمكن إزاحتها عن سطح الغشاء بسبب انخفاض سرعة المائع بالقرب من السطح.

وتشكل هذه الطبقة بالرغم من سماكتها طبقة مماثلة للغشاء تدعى بطبقة الجلاتين Gel، تؤثر بشكل كبير على انتقال المادة عبر الغشاء وتعمل على تخفيض كمية الراشح الناتج عن عملية الترشيح [13].

ومن أهم العوامل المؤثرة على تشكيل هذه الطبقة:

- خواص المحلول خاصة اللزوجة: إن خواص المحلول المراد فصله خصوصاً لزوجته لها تأثير كبير على تشكل طبقة الجل. حيث بزيادة اللزوجة تزداد الإعاقة لمرور الجزيئات وبالتالي إمكانية أكبر لتشكل الطبقة الجلاتينية. وكلما قلت اللزوجة (عند ارتفاع درجة الحرارة مثلاً) يؤدي ذلك إلى سرعة عبور الجزيئات وتقل سماكة الطبقة الجلاتينية.

- الضغط: يقل تأثير زيادة فرق الضغط المطبق لزيادة معدل الترشيح بسبب زيادة المقاومة الهيدروليكية لطبقة الجل المتشكلة فوق سطح غشاء الترشيح إضافة إلى انضغاط الغشاء مما يؤثر سلباً على معدل العبور لجزيئات الراشح.
- سرعة تدفق السائل: تؤدي زيادة سرعة تدفق السائل إلى تقليل سماكة طبقة الجل المتشكلة فوق سطح غشاء الترشيح وبالتالي تخفيف المقاومة الهيدروليكية لعبور جزيئات الراشح. ويتم زيادة سرعة تدفق السائل باستخدام مضخة تدوير أو تقليل مقطع الجريان، بحيث يصبح الجريان مضطرباً، مما يساعد على إزالة الجزيئات المشكلة لطبقة الجل بجوار الغشاء. وهذا ينطبق على الترشيح الديناميكي (المتصالب) أما بالنسبة للترشيح الستاتيكي فإن زيادة سرعة التدفق تزيد من سماكة الطبقة المتشكلة وتصبح المقاومة الهيدروليكية كبيرة. وعندها يجب التوقف عن العمل وإعادة تنظيف الغشاء من أجل الاستمرار في العملية.

8- عوامل أخرى:

- مقاومة الغشاء للكلور: تعتبر المقاومة القليلة للكلور أحد المشاكل التي يجب معالجتها وذلك من أجل أنواع محددة من الأغشية.
- الخواص الهيدروفوبية للغشاء: إن الخواص الهيدروفوبية (الكارهة للماء) للغشاء ناتجة عن زيادة التوتر السطحي. لذلك يتم إضافة مواد كيميائية أو تطبيق ضغط هيدروليكي مرتفع لتقليل التوتر السطحي وتحسين عملية الترشيح.
- مادة ونمط الغشاء واستخدامه: عند معرفة خواص البوليمرات أو المواد المستخدمة في صناعة الأغشية مع تحديد عدد من العوامل مثل أبعاد المسامات، البنية والشكل، معدل التدفق، فإنه يصبح من السهل تنظيم تصنيع الأغشية بشكل يتوافق مع متطلبات السوق.

كما أن البحث لا يزال مستمراً على أنواع من البولميرات لتصنيع أغشية جديدة ذات مواصفات عالية الجودة.

2-3: أسباب التوسخ:

إن ظاهرة توسخ الأغشية من أهم المشاكل التي تتعرض لها الأغشية. وهي ناتجة عن تشكل طبقة متاخمة للغشاء تؤدي إلى حدوث استقطاب تركيزي نتيجة ارتفاع تركيز المحلول إلى فوق الإشباع وبالتالي منع مرور الراشح، ومع استمرار العملية يحدث توسخ الأغشية. ينتج عن هذه المشكلة تدفق منخفض للراشح و فرق ضغط مرتفع على طرفي الغشاء.

عند تدفق مرتفع تتشكل طبقة عكوس Reversible وهي لا تؤثر على عملية الترشيح حيث يقل الراشح عند بداية تشكلها ثم يثبت. أما عند تدفق منخفض فتتشكل طبقة غير عكوسة Irreversible تعيق عملية الترشيح وينخفض تدفق الراشح مع مرور الزمن ومن ثم قد يحصل توسخ الغشاء.

أما زيادة فرق الضغط المطبق عن قيمة محددة فيؤدي إلى انضغاط الغشاء مما يؤدي إلى تغيير بنيته وخواصه وإعاقة مرور الجزيئات نتيجة هذا الانضغاط. وكذلك عند زيادة فرق الضغط تصبح هناك إمكانية لدخول جزيئات الطبقة المتاخمة للغشاء إلى ثقوب الغشاء. وبالتالي حدوث توسخ غير عكوس وهنا يجب تبديل الغشاء لأن عملية الغسيل لا تجدي نفعاً.

فالتوسخ هو تراكم المواد الغريبة التي يمكن أن تكون موجودة في مياه التغذية على السطح الفعال للغشاء و/أو فاصل التغذية إلى أن تصل إلى مستوى تسبب مشاكل في التشغيل. يتضمن مصطلح التوسخ تراكم كل أنواع الطبقات على سطح الغشاء وفاصل التغذية، بما في ذلك تشكل القشور scaling. يعتبر التوسخ من أكثر المتحولات الحرجة والمؤثرة على عملية تصميم محطات التحلية بالتناضح العكسي [14].

تعد ظاهرة التوسخ وتشكل الطبقة الغليظة على سطح الأغشية أثناء عمليات المعالجة من الأمور المعقدة والتي تدخل فيها مؤثرات متعددة تختلف حسب نوع المعالجة وآليتها، ولذلك هناك عدة طرق يمكن استخدامها لتخفيض توسخ الأغشية لأنه من غير الممكن منع هذه الظاهرة نهائياً، فمن الممكن دمج هذه العمليات في عمليات يمكن إجراؤها على التغذية أو على مواصفات الغشاء أو على نوع الغشاء.

فمن الممكن تخفيض توسخ أغشية RO عن طريق معالجة أولية للمياه الداخلة للعملية بحيث تزال الأجسام الصلبة من المياه قبل دخولها إلى أغشية RO عن طريق ترشيحها عبر مرشحات ذات مسامات صغيرة أو عن طريق ترشيحها في مرشحات ميكروية MF أو فائقة UF. وفي بعض الحالات يمكن امتزاز هذه المكونات عن طريق إمرارها على الفحم الفعال. ومن الممكن أيضاً تخفيض توسخ الأغشية البيولوجي عن طريق معالجة المحلول الداخل بتغيير درجة الحموضة pH أو بالكلورة لقتل الأحياء الدقيقة التي قد تسبب التوسخ البيولوجي. ومن ثم إضافة مواد مختلفة لتخفيض نسبة المواد المؤكسدة والكلور في مياه التغذية الداخل إلى الأغشية.

ويمكن إرجاع سبب توسخ الأغشية لمصدرين رئيسيين هما: [16, 15, 6, 3]

2-3-1: مياه التغذية الخام: حيث تؤثر نوعية المياه ومصدرها وطريقة معالجتها الأولية. ومن أم مؤشرات نوعية المياه:

1- كمية الأملاح المنحلة TDS.

2- نوعية الأملاح المنحلة وخاصة وجود الحديد والمواد المؤكسدة وكبريت الهيدروجين.

3- العكارة والغرويات والمواد المعلقة SS .

4- مقدار دليل كثافة الطمي SDI .

5- درجة حرارة المياه الداخلة T^o.

6- درجة حموضة المياه الداخلة pH.

2-3-2: طريقة تشغيل محطة التحلية: وتتضمن العوامل التالية:

1- كمية ونوعية الحمض المستخدم لضبط درجة الحموضة.

2- كمية ونوعية مانع الترسيب المستخدم.

3- كمية ونوعية مادة التعقيم المستخدمة في المياه الخام والمياه المنتجة.

4- نوعية الأغشية المستخدمة في محطة التحلية.

5- عدد الأغشية وطريقة توزيعها في المحطة.

6- حجم الماء المتدفق خلال واحدة السطح للغشاء Flux.

7- الضغط المطبق على أغشية التحلية.

8- كمية مياه الصرف المدورة (الراجع).

9- نسبة تيار المياه المنتجة permeate إلى تيار مياه الصرف drain.

10- عمليات الغسيل للأغشية لإزالة الملوثات أو Fouling.

11- كمية مياه الخلط للمنتج النهائي مع المياه الخام.

2-4: مصادر المياه الخام:

تختلف مصادر المياه من بلد لآخر حسب الطبيعة الجغرافية والمناخ السائد. ومن هذه المصادر:

2-4-1: الماء الجوي: يشمل الأمطار والثلوج ويحتوي على نسب منخفضة من الشوائب وأملاح غير منحلة وأكاسيد الآزوت والأوكسجين وثاني أكسيد الكربون. كما تتضمن مركبات الكالسيوم والمغنيزيوم.

2-4-2: المياه السطحية: تشمل مياه الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات. وهي تحتوي على شوائب عضوية إضافة لشوائب المياه الجوية مثل: كربونات، بيكربونات (كالسيوم، مغنزيوم، صوديوم، بوتاسيوم) كبريتات وكلوريدات.

2-4-3: المياه الجوفية: تشمل مياه الآبار والينابيع الفوارة. وهي تحتوي على أنواع مختلفة من الأملاح الذوابة فيها حسب شروط وبنية الأرض والصخور التي تترشح خلالها المياه الجوفية. وتتميز هذه المياه بعدم وجود شوائب عضوية.

2-5: ملوثات المياه:

يكون الماء ملوثاً عندما تتغير خواصه من الناحية الفيزيائية أو الكيميائية أو الحيوية نتيجة انتقال المواد إليه، أي تبدل في نوعية المياه. ومن خلال معرفة الملوثات يمكن اختيار الطريقة المناسبة للمعالجة. ونورد فيما يلي بعضاً من هذه الملوثات:

2-5-1: المواد الصلبة والمعلقة والمنحلة:

- مصادرها: ذات مصادر متعددة ويعتمد ذلك على مكان الماء المستخدم أو مصدره.
- تأثيرها: تعطي منظراً عكراً للماء وتعيق نفوذية الضوء. وهذا يؤثر على عملية التركيب الضوئي للنباتات البحرية. حيث تقل كمية الضوء الساقطة على النبات، وقد ينعدم وصول الضوء في الأماكن الأكثر عمقاً. كما أن هذه المواد قد تغير تركيز الأوكسجين المنحل فيما إذا كانت مركبات عضوية وتخضع إلى تحلل بيولوجي.

2-5-2: الأحياء الدقيقة المعوية:

- مصادرها: البكتريا أبعادها 0.1-5 μm، والفيروسات ذات الأبعاد 0.006-0.1 μm، والعدد الأكبر منها هو مجموعة كوليفورم. وهي تمتز على سطح المواد الصلبة.

- تأثيرها: تشكل خطراً على الصحة خصوصا إذا استخدمت للأغراض المنزلية أو السباحة. وتسبب هذه الكائنات أمراضاً خطيرة مثل شلل الأطفال والتيفوئيد والكوليرا والسالمونيلا والالتهاب الكبدي.

2-5-3: مركبات كيميائية:

نذكر منها :

1- المركبات الحمضية أو القلوية: وسببها وجود مركبات كربونات وبيكربونات المغنزيوم والكالسيوم وتسبب قساوة المياه. حيث تؤثر على خواصها مثل الترسبات وعدم قدرتها على تشكيل رغوة مع الصابون المستخدم في التنظيف.
2- مركبات الكلوريدات والكبريتات: تسبب ملوحة المياه.
3- مركبات النترات والفوسفات: تعتبر مواداً مغذية للنبات، حيث تزيد من نمو الطحالب مما يؤدي إلى اخضرار الماء وتظهر طبقة من الأعشاب على سطح المياه. وبالتالي تمنع وصول O_2 مما يؤثر على الحياة المائية.
4- الحديد والمغنزيوم: يوجدان في المياه الجوفية ويسببان تغيير لون الماء ويكون ضررهما عند وجود كميات كبيرة منهما.
5- المركبات العضوية: كالبترول ومشتقاته والمبيدات الحشرية والمبيدات الفطرية وغيرها من الكيماويات الصناعية.
6- الهالوجينات: مثلاً الكلور يشكل مركبات هيدروكربونية كلورية مسرطنة عندما يتفاعل مع المركبات الهيدروكربونية عند وجودها.

2-6: أهم مؤشرات المياه:

2-6-1: العكارة: تنشأ عن وجود مواد معلقة في المياه أبعادها أكبر من 0.1 μm قد تكون لا عضوية مثل الرمل والطين أو عضوية مثل نواتج تفكك الكائنات الحية والنباتية. وتقاس بواحدة NTU (Nuflumetric Turbidity Unite) وتعتمد على مدى تبعثر أشعة الضوء ضمن عينة سائلة بسبب اصطدامها بجسيمات معلقة ضمن السائل. بحيث أن كل 1 mg سيلكات SiO_2 في 1 ليتر ماء تقابل 1 NTU. الحد المسموح به في مياه الشرب 0-5 NTU وفي الحالات القصوى 25 NTU.

2-6-2: اللون والطعم والرائحة: تحدد هذه الخواص تلوث المياه أو نقاوتها، ويجب ألا يكون هناك أي لون لعمود من الماء بطول10 cm وألا يكون هناك طعم كريه أو رائحة كريهة.

يؤدي تغير اللون إلى حجب أشعة الشمس وقتل الأحياء المائية الدقيقة فيزداد تلوث المياه كما أن الطعم والرائحة الكريهة دليل على تلوث المياه بالمركبات الكيميائية مثل الفينولات ومشتقات الكبريت وغاز كبريت الهيدروجين .

2-6-3: القساوة الكلية TH: تعود القساوة الكلية للماء إلى وجود تراكيز مرتفعة لكربونات وبيكربونات الكالسيوم والمغنزيوم أو الكبريت أو كلور الكالسيوم والمغنزيوم. وتقسم إلى:

- القساوة المؤقتة (الكربوناتية): عبارة عن شوارد الكالسيوم والمغنزيوم المرتبطة بالشوارد الكربوناتية (HCO^-, CO^{--}). وسميت مؤقتة لأنه يمكن التخلص منها بعملية تسخين حيث تتفكك وتعطي الكربونات وهي راسب يعزل بعملية الترشيح.
- القساوة الدائمة: وهي عبارة عن شوارد الكالسيوم والمغنزيوم المرتبطة بشوارد لا كربوناتية مثل (NO, Cl, SO_4). وهي لا تزول بالتسخين وإنما تطبق هنا طريقة كيميائية للتخلص منها مثل التفاعل مع Na_2CO_3، يعتمد تقدير القساوة على معايرة شوارد الكالسيوم والمغنزيوم بمحلول الملح الصوديومي لثنائي ايتيل رباعي أمين EDTA. وتقدر القساوة هنا بواحدات مختلفة. ولتحديد قساوة أملاح المغنزيوم فقط يتم أولاً ترسيب شوارد الكالسيوم الموجودة في المحلول بأكسالات الأمونيوم $(NH_4)_2C_2O_4$ ثم المعايرة بـEDTA وتحسب عندها قساوة الكالسيوم من طرح قساوة المغنزيوم من القساوة الكلية.

المشاكل التي تسببها القساوة الزائدة :

1) مشاكل تكنولوجية : تسبب ترسبات كلسية ضمن الأنابيب والآلات المتعاملة معها .
2) استهلاك المنظفات: تشكل مكونات القساوة مع المادة المنظفة معقدات تمنع تشكل الرغوة.

2-6-4: الناقلية الكهربائية: تعود ناقلية الماء إلى وجود شوارد الأملاح المنحلة مثل أملاح البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وغيرها. لذلك فإن ازدياد ناقلية الماء يدل على ازدياد نسبة المواد غير العضوية المنحلة فيه.

2-6-5: القلوية: تدل على محتوى المياه من المكونات القلوية (كربونات، بيكربونات، هيدروكسيدات). يتم تحديد القلوية باستخدام حمض كلور الماء. ونميز نوعين حسب المشعر

المستخدم. القلوية الجزئية (قلوية الفينول فتالئين): حجم حمض كلور الماء 0.1 N المستهلك من أجل ليتر واحد حتى انقلاب لون المشعر عند pH=8.2 .

والقلوية التامة (قلوية أحمر الميتيل): حجم الحمض المستهلك من أجل ليتر واحد حتى انقلاب مشعر أحمر الميتيل عند pH = 4.2-6.3.

2-6-6: الكلوريد Cl^-: يعاير بنترات الفضة في المحاليل المعتدلة أو الضعيفة القلوية.

2-6-7: الفوسفات PO_4^{-2}: يؤثر الفوسفات على نمو البكتريا والأحياء ويجب تحديد كميته بين مراحل المعالجة اللاحقة البيولوجية. ويعتمد تحليل الفوسفات على تشكيل معقد يعطي إرجاعه لوناً أزرقاً.

2-6-8: الكبريتات: تعطي رائحة كريهة جداً عند إرجاعها بفعل البكتريا وتقدر بإحدى الطرق:

1- طريقة ترسيب وزنية: باستخدام كلور الباريوم.
2- طريقة مقياس العكارة: مقارنة العكارة في الماء المدروس عند إضافة كلور الباريوم مع العكارة في سلسلة عيارية وذلك عند تشكل معلق غير راسب.

2-6-9: النتريت والنترات: يتواجد النترات والنتريت بسبب تفكك المواد الغذائية والأسمدة تحت تأثير الأحياء الدقيقة. حيث تحول البكتريا آزوت الأمونيا إلى نترات ونتريت. ومن ثم تحول النترات في مرحلة لاحقة إلى الآزوت لينطلق إلى الجو. ويعتمد تحليل النتريت على المعايرة بحمض السولفانيليك فيتشكل ملح أحمر، أما النترات فإنها تشكل معقداً أصفر عند معايرته بحمض 2-4 فينول ثنائي السولفانيليك.

2-6-10: الأمونيا: يؤدي وجود الأمونيا في الماء إلى زيادة كمية الأكسجين المستهلك بالأكسدة والتأثير على الأكسجين المنحل. كما أن وجود الآزوت في مياه الشرب أو المياه المخزونة أمر غير مرغوب فيه بسبب زيادة كمية الكلور اللازمة لإتمام تفاعل الكلورة. وهذا يقلل من فاعلية التعقيم ويزيد من كلفة المعالجة.

2-6-11: التلوث البكتيري: يعبر عنه بكمية البكتريا الموجودة في 1 m1 من المياه. ومن أجل تقدير الحالة الصحية للمياه. تحظى بأهمية خاصة بكتريا العصيات المعوية التي يدل وجودها على تلوث المياه بالمخلفات الغائطية. وبالتالي إمكانية وجود البكتريا المرضية وخاصة الحمى التيفية، وبالتحليل الحيوي يحدد عدد العصيات المعوية في ليتر واحد من المياه وهو ما يدعى دليل العصيات. وبالنسبة لمياه الشرب يجب أن يكون دليل العصيات أقل أو يساوي 3،

وفي كثير من الصناعات لا يمنع التلوث البكتيري من استخدام المياه في الأغراض التكنولوجية باستثناء الصناعات الغذائية.

2-7: أنواع التوسخ:

يحدث التوسخ Fouling على أغشية التحلية بعدة آليات منها:

1- تخثر الجسيمات الناعمة والمركبات الغروية على سطح الغشاء.

2- التفاعل الكيميائي للمركبات مع بعضها على سطح الغشاء مثل تشكل ماءات الحديد الهلامية.

3- تفاعل كيميائي للمركبات الموجودة في الماء مع بوليمير الغشاء.

4- امتزاز الجزيئات الضخمة ومتوسطة الحجم على سطح الغشاء مثل: الحموض الأمينية والسكريات والمركبات العطرية.

5- الترسب غير العكوس للجزيئات الضخمة.

لتفادي هذه المشكلة يتم تخفيض وزيادة سرعة التدفق وذلك من أجل تدفق معين للراشح. يلاحظ أنه مع تقدم الزمن أثناء عملية الترشيح ونتيجة حدوث التوسخ والاستقطاب التركيزي يحصل انخفاض لتدفق الراشح. تتكون الطبقة المتشكلة بسبب التوسخ من مواد عضوية أو غير عضوية. وذلك حسب نوع التغذية، وهذه الظاهرة معقدة جداً يصعب وصفها نظرياً لكنها تعتمد على عدد من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية مثل التركيز ودرجة الحرارة و pH، ووجود الأيونات وغيرها. ويجب دراسة هذه الظاهرة بشكل جيد ومعرفة مدى الانخفاض في تدفق الراشح وذلك من أجل عمليات التصميم [17]. وفيما يلي أهم أنواع التوسخ:

2-7-1: التوسخ اللاعضوي:

يعود إلى احتباس الجزيئات أو المواد الغروية مثل ندف الحديد أو الطمي[19, 18].

2-7-2: التوسخ البيولوجي: يقصد به النمو الحيوي وغالباً البكتيري على الأسطح الدائمة الرطوبة في أنظمة معالجة وتوزيع المياه، كالأسطح الداخلية للأنابيب أو على أغشية التناضح العكسي وخلافه [20]. وهي ظاهرة شائعة في عموم البيئات المائية. ولهذا النمو تأثير غير مباشر على جودة المياه وذلك من خلال التأثير السلبي على كفاءة بعض وحدات المعالجة كإحداث التكتل أو التآكل لأغشية التناضح العكسي، أو زيادة وتسريع تآكل الأنابيب.

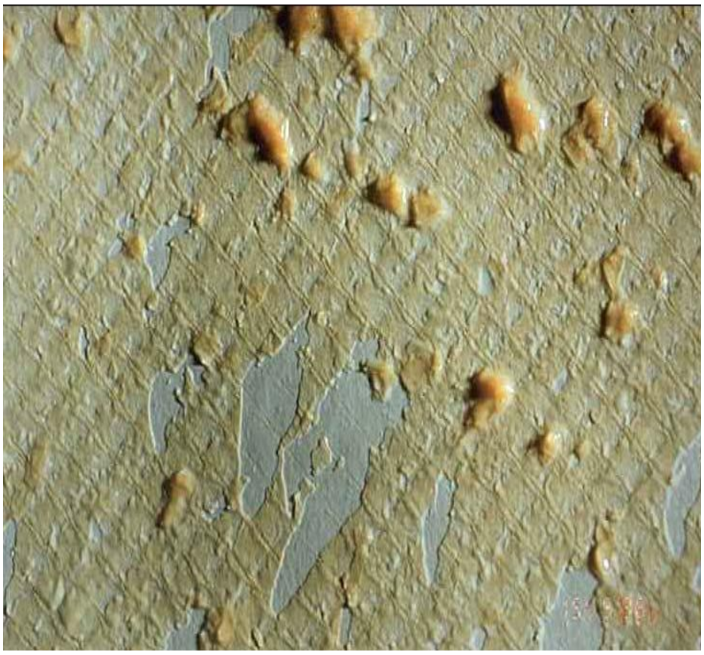
وله تأثير مباشر على جودة المياه الكيميائية من خلال التسبب في وجود رائحة أو طعم. وذلك بفعل النواتج الأيضية لبعض أجناس البكتيريا التي يمكن أن تتواجد ضمن هذا النمو، كما أن وجود هذا النمو الكثيف وعند تعرضه للكلور يتسبب في تلويث المياه بمركبات عضويه خطرة صحياً ناتجة عن تفاعل عامل التطهير مع المكونات العضوية لهذا النمو.

أما أثره على الجودة الميكروبية فيتضح من عدة وجوه أولاً التأثير السلبي على فاعلية عامل التطهير من حيث مدة بقائه في الماء. حيث يمكن لهذا النمو أن يستهلك مقادير الكلور الحر مع الوقت، ثانياً تشكيله لدرعٍ واقٍ يحمي البكتيريا من عامل التطهير. فلو افترضنا أنه مكون من بكتيريا غير ممرضة أثرها لا يتجاوز رفع العد البكتيري الكلي، فإن له القدرة أيضاً على حماية وإكثار البكتيريا الممرضة التي قد تلوث بشكل مؤقت الماء، وبالتالي إطالة أمد التلوث ورفع مقدار الخطر المحتمل واستهلاك الجهود المبذولة للتطهير بعد حالات التلوث، احتمال تلويث المياه بالسموم البكتيرية الداخلية Endotoxin، وذلك أثناء نمو أو موت وتحلل بعض البكتيريا التي قد تدخل ضمن مجتمع البكتيريا النامية.

وهناك العديد من العوامل يمكن أن تؤثر على قدرة البكتيريا على بناء هذا النوع من المجتمعات البكتيرية كوجود المواد العضوية القابلة للهضم الحيوي، سواء كان مصدرها من المياه الخام أو من الملوثات، درجة حرارة الماء المناسبة، انخفاض تركيز أو كفاءة عامل التطهير، العامل الهيدروليكي، الأعداد الابتدائية للبكتيريا في الماء، نوع مادة السطح الذي تكون عليه النمو وقدرته على السماح للنمو البكتيري بالتمسك والالتصاق أو توفيره لمركبات يمكن استغلالها حيوياً [20, 13].

فعلى سبيل المثال نجد أن المواد البلاستيكية عموما لا تقود إلى تكون هذا النوع من الاستعمار البكتيري للسطوح كما يرصد في السطوح ذات الطبيعة الإسمنتية أو الحديد الزهر الرمادي.

أما بالنسبة لتقدير حجم التوسخ البيولوجي فقد وجد من التجارب العديدة للباحثين أن تقدير إجمالي عدد البكتيريا في المياه الخارجة من وحدات التناضح العكسي أو تلك المارة عبر شبكة ما، لا يعكس بالضرورة وجود أو كمية وجود النمو البكتيري الملتصق على السطوح في تلك الأماكن وهذا قاد إلى صعوبة تقدير حجم المشكلة باستخدام المزارع البكتيرية [7].



الشكل (2-4): صورة للتوسخ البيولوجي على سطح غشاء التناضح العكسي [7].

استخدمت طرق حديثة لتقدير طبيعة هذا النمو الحيوي بالاعتماد على مركبات يمكن أن تفرزها البكتريا للماء المار على هذا النمو الحيوي. مثل تلك التي تعتمد على تحليل بعض الأحماض الدهنية (lipid fatty acids Polar) أو المركبات الذائبة ذات المنشأ البكتيري (Soluble products microbial). ولتقدير مدى تضرر أو مقاومة البكتيريا المكونة للتوسخ للكلورة يمكن ذلك بتقدير مركب الـ Oxirane fatty acid في عينات من التوسخ البيولوجي تؤخذ مباشرة من أماكنها. علماً بأن مقاومتها للكلورة وقدرتها على الاحتفاظ بحيويتها رغم التعرض لجرعات عالية من الكلور أمر مرصود في عدة دراسات، وقد وجد أحد الباحثين ارتفاع كفاءة التطهير لمثل هذه الحالات باستخدام الكلور أمين.

2-7-3: التوسخ العضوي: هو امتزاز مركبات عضوية محددة مثل مواد منزلية والزيت على سطح الغشاء [21, 17].

2-7-4: تشكل القشور: يعود لترسب الأملاح قليلة الانحلالية داخل منظومة. حيث تترسب أملاح كربونات الكالسيوم وكبريتات الكالسيوم وفلوريد الكالسيوم والسيليكا على شكل طبقة فوق سطح الغشاء[14]. كذلك تترسب أملاح الحديد والمنغنيز. حيث تتشكل ماءات الحديد الهلامية وكذلك أكسيد المنغنيز على سطح الغشاء. ويجب أن يكون تركيز الحديد و المنغنيز بعد المعالجة الأولية أقل من 0.1 جزء في المليون [7].



الشكل رقم (2-5) : صورة للتوسخ بالقشور على سطح غشاء التناضح العكسي [7].

2-8: تحديد توسخ الغشاء Silt Density Index (S.D.I) [22, 9, 7]:

إن أحد أهم المؤشرات على عدم صلاحية المياه المغذية لوحدات تحلية المياه بالتناضح العكسي هو دليل كثافة الطمي. الذي يجب أن يكون دوماً أقل من SDI < 3 %/min. أما طريقة قياس هذا الدليل فهي بتمرير كمية من المياه الخام 500 ملليتر تحت الضغط 2.75bar عبر فلتر قياس 0.45µm ويتم قياس الزمن اللازم لعبور هذه الكمية t_1 ثم وبعد مدة 15 دقيقة يتم قياس الزمن اللازم لعبور نفس الكمية من المياه الخام وليكن الزمن t_2 فتكون قيمة دليل كثافة الطمي حسب العلاقة التالية:

$$SDI = 100(1- t_1/ t_2)/15 \quad \%/min \qquad (2-6)$$

الحسابات: استطاعة التوسخ من العلاقة:

$$P\% = 100 (1- t_0 /t) \qquad (2-6)$$

إذا كانت هذه النسبة أكبر من 80% من أجل 15 دقيقة يجب إعادة نفس الاختبار من أجل 10 أو 5 أو حتى 3 دقائق. يحسب مؤشر التوسخ من استطاعة التوسخ والزمن بين القياسين (T):

$$FI = P\% / T \quad \%/min \qquad (2-7)$$

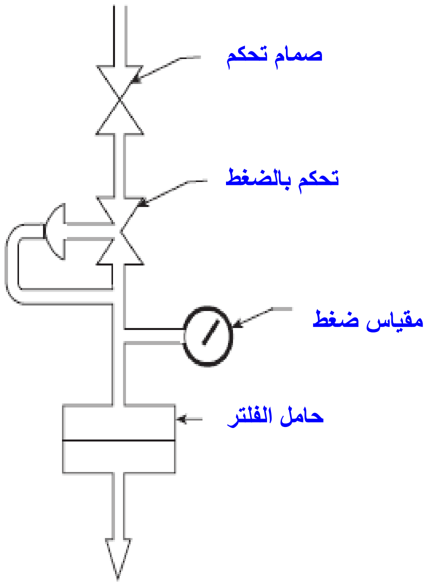
مثال: t = 15 min t_0 = 28 sec t = 44 sec

من أجل P = 2.75 bar يكون:

$$P = 100. (1-28/44) = 36.4\%$$

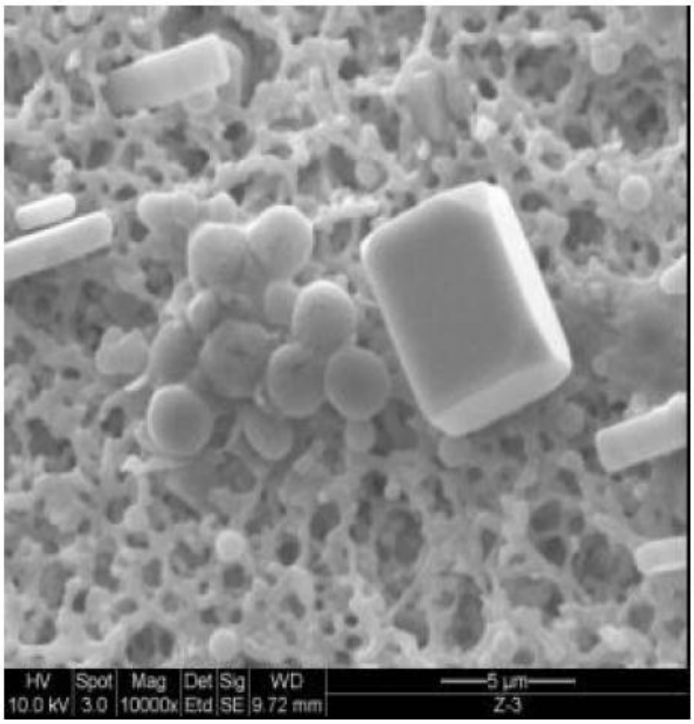
$$FI = 36.4/15 = 2.4 \ \%/min$$

حيث: FI : دليل التوسخ Fouling Index (%/min).



الشكل رقم (2–6): جهاز قياس دليل كثافة الطمي SDI [7-9].

يوضح الشكل (2–7) توضع الأوساخ على سطح الفلتر المستخدم في قياس دليل كثافة الطمي [23]:



الشكل رقم (2–7): توضع الأوساخ (البكتريا والأملاح المعدنية وجزيئات القشور) على سطح الفلتر المستخدم في قياس دليل كثافة الطمي SDI [23].

يوضح الجدول (2−1) أهم المواد الموسخة لأغشية RO وطريقة معالجة التوسخ [18, 7]:

مادة التوسخ	طريقة المعالجة	مؤشرات التوسخ
كربونات الكالسيوم	1- حقن مانع الترسيب (مثل فوسفات الصوديوم). 2- حقن الحمض (مثل حمض الكبريت). 3- مبادل شاردي كاتيوني. 4- إزالة القساوة بالكلس المطفأ. 5- تخفيض مردود المحطة.	انخفاض ملحوظ في الأملاح المرفوضة مع زيادة معتدلة لفرق الضغط بين التغذية والتيار المركز الناتج.
الكبريتات	1- حقن مانع الترسيب (مثل فوسفات الصوديوم). 2- مبادل شاردي كاتيوني. 3- إزالة القساوة بالكلس المطفأ. 4- تخفيض مردود المحطة.	انخفاض قيمة الأملاح المرفوضة. انخفاض مستمر وضعيف بفرق الضغط بين التغذية والتيار المركز. انخفاض ضعيف في إنتاجية المنظومة
فلورايد الكالسيوم	1- حقن مانع الترسيب (مثل فوسفات الصوديوم). 2- مبادل شاردي كاتيوني. 3- إزالة القساوة بالكلس المطفأ. 4- تخفيض مردود المحطة.	تزداد انحلاليته بازدياد درجة الحرارة
السيليكا	1- زيادة درجة حرارة تيار التغذية. 2- زيادة درجة الـ pH لأكثر من 8 (لكن يجب الأخذ بالاعتبار كربونات الكالسيوم مسبقاً) . 3- تخفيض مردود المحطة.	يستخدم الكلس المطفأ في المحطات الأكبر من 5000 $م^3$/يوم
المواد الجرثومية	1- الكلورة (لكن تيار التغذية يجب أن ينزع منه الكلور قبل دخوله الأغشية). 2- المبيدات. 3- الأوزون.	انخفاض في الأملاح المرفوضة و فرق الضغط بين التغذية والتيار المركز. انخفاض مستمر في إنتاجية المنظومة
المواد العضوية	1- الترشيح الفائق يخفض دليل التوسخ $SDI \leq 1$ 2- الامتزاز على الفحم الفعال. 3- التخثير والتنديف.	انخفاض ملحوظ في الأملاح المرفوضة، زيادة تدريجية ومستمرة بفرق الضغط بين التغذية والتيار المركز. انخفاض تدريجي في إنتاجية المنظومة
الغرويات	1- الترشيح الفائق. 2- الفلترة العادية إذا كان دليل التوسخ $SDI \geq 4$ 3- التخثير والتنديف.	الحل الثالث يستخدم عندما يكون دليل التوسخ SDI كبيراً.
الحديد	1- أكسدته للحالة الثلاثية ثم فلترته. 2- مبادل شاردي كاتيوني. 3- يجب أن يكون تركيز الحديد والمنغنيز بعد المعالجة الأولية أقل من 0.1 ppm .	انخفاض سريع في الأملاح المرفوضة، زيادة سريعة ومستمرة بفرق الضغط بين التغذية والتيار المركز. انخفاض سريع في إنتاجية المنظومة.

مادة التوسخ	طريقة المعالجة	مؤشرات التوسخ
الألمنيوم	1- الانحلالية الدنيا للألمنيوم تحدث ضمن المجال لـ pH 6,5- 6,7 . 2- التخثير الحاصل على مواد الفلترة. 3- يجب أن يكون تركيز الألمنيوم بعد المعالجة الأولية أقل من 0.05 ppm .	مصدره من كبريتات الألمنيوم الشبة التي تضاف عند معالجة المياه. كذلك ترسب هيدروكسيد الألمنيوم من الحمض المحقون.
المنغنيز	1- الأكسدة ثم الفلترة. 2- يجب أن يكون تركيز الحديد و المنغنيز بعد المعالجة الأولية أقل من 0.1 ppm .	يوجد غالباً بشكل MnO_2
الكربون العضوي	الغسيل العكسي وشطف الفلتر الكربوني.	يحدث بسبب الغسيل غير المناسب لسرير الكربون.
الأكسدة	أكسدة الطبقة الفعالة الرقيقة وهو تخريب غير عكوس. يتم تجنبها عن طريق: 1- حقن بيسولفيت الصوديوم. 2- الفلتر الكربوني.	يحدث بسبب الكلورين والأوزون وبرمنغنات البوتاسيوم وهيبو كلوريت الكالسيوم أو الصوديوم.
التحلل بالماء (الحلمهة)	حلمهة الطبقة الفعالة الرقيقة (تخريب غير عكوس) تحديد تركيز NaOH بـ 0.1% والمحافظة على درجة الحرارة أقل من 30 درجة مئوية.	يحدث بسبب التركيز العالي للصودا الكاوية أثناء عملية الغسيل pH > 13.
الهجوم (التخريب) الكيميائي	أسبابه: 1- نزع غير كامل للكلور (الأكسدة). 2- التعريض لمؤكسد قوي (مثل البرمنغنات). 3- التعريض لـ pH شديد الارتفاع لمدة طويلة (حلمهة).	1- تدفق كبير للمنتج. 2- حجز ضعيف جداً للأملاح. اذا الخراب غير عكوس ويجب استبدال الأغشية.
التخريب بفعل الضغط الخلفي على التيار المنتج.	أسبابه: 1- خطأ ميكانيكي في المنظومة. 2- تصميم ضعيف أو خطأ تشغيل.	1- تدفق كبير للمنتج. 2- حجز ضعيف جداً للأملاح. 3- تجعد في الغشاء قرب خط الغراء الخلفي. هذا الخراب غير عكوس ويجب استبدال الأغشية.

Chapter Three الفصل الثالث

طرق الحد من توسخ أغشية التناضح العكسي

Limitation of reverse osmosis membranes fouling

3-1: مقدمة:

تعتبر المعالجة الأولية لمياه تغذية محطات التحلية بالتناضح العكسي من أهم العوامل التي تتحكم بتوسخ الأغشية. لذلك فكلما كانت المعالجة أكثر فاعلية كان التوسخ عند حده الأدنى. وتتألف المعالجة الأولية التقليدية من المعالجة الفيزيائية، حيث تمر مياه التغذية عبر الفلاتر الرملية والكربونية والخرطوشية (الميكرونية)، وذلك لإزالة العوالق والشوائب ومنع ترسب الكائنات الحية ونموها على الأغشية[25, 24]. وكذلك المعالجة الكيميائية، حيث يتم إضافة بعض المواد الكيميائية مثل الحمض لضبط الـ pH والكلور للتعقيم ومواد كيميائية أخرى لمنع ترسيب أملاح الكالسيوم والمغنيزيوم وإزالة المواد المؤكسدة [26]. يتم اختيار وترتيب مخطط محطة تحلية المياه، ونوع المنشآت فيها وفقاً لمتطلبات المستهلك لنوعية المياه ومواصفاتها. وهذا الأمر يتحدد بالاعتماد على المقارنة (التقنية – الاقتصادية) لمجموعة الاحتمالات الممكن استخدامها لعملية المعالجة المطلوبة[28, 27].

3-2: العمليات المستخدمة في معالجة المياه:

تلعب خواص الغشاء دوراً في عملية إزالة أو تقليل التوسخ، حيث أن التوسخ الحادث في الأغشية المسامية تسهل معالجته بسهولة أكثر من التوسخ الحادث في الأغشية اللامسامية، كما أن توزع المسامات الضيقة على سطح الغشاء يساعد في تخفيض التوسخ، وكذلك يفضل استخدام الأغشية الهيدروفيلية (المحبة للماء) على استخدام الأغشية الهيدروفوبية (الكارهة للماء) حيث يساعد ذلك على تخفيض التوسخ [29, 24].

مثلاً: يتم امتزاز البروتين على الأغشية ذات الخواص الهيدروفوبية أكثر من الأغشية ذات الخواص الهيدروفيلية وبالتالي تسهل إزالتها عن الأغشية الهيدروفيلية [30].

تختلف القابلية للتوسخ حسب نوع الغشاء حيث الأغشية الشعرية هي الأكثر قابلية للتوسخ. لكن نوع الغشاء يتحدد بالعملية المستخدمة. كما يمكن اختيار نوع الغشاء حسب نوع التغذية بحيث تكون عملية التوسخ في حدها الأدنى[25, 24].

تستخدم عمليات عديدة في معالجة المياه وتعتمد على نوعية الملوثات الموجودة في المياه إضافة إلى مواصفات المياه المطلوبة بعد المعالجة ونوجز هذه العمليات فيما يلي:

3-2-1: فصل المواد الصلبة بالترسيب:

وهي عملية فصل فيزيائية تستخدم لفصل المواد الصلبة الخشنة والمواد غير المنحلة ذات كثافة أكبر أو أقل من كثافة المياه. حيث تترسب المواد الصلبة ذات الكثافة الأكبر من كثافة الماء في الأسفل بينما تطفو المواد ذات الكثافة الأقل على السطح. مثل المواد الشمعية أو الزيتية وغيرها حيث تزال هاتان الطبقتان (العليا والسفلى) بواسطة وسائل ميكانيكية ويؤخذ الماء المرقد إلى مراحل المعالجة اللاحقة.

3-2-2: الترشيح:

وهي عملية فصل فيزيائية تستخدم من أجل فصل المواد المعلقة القابلة للترسيب، ويوجد عدة أنواع من المرشحات يمكن تصنيفها كالتالي:

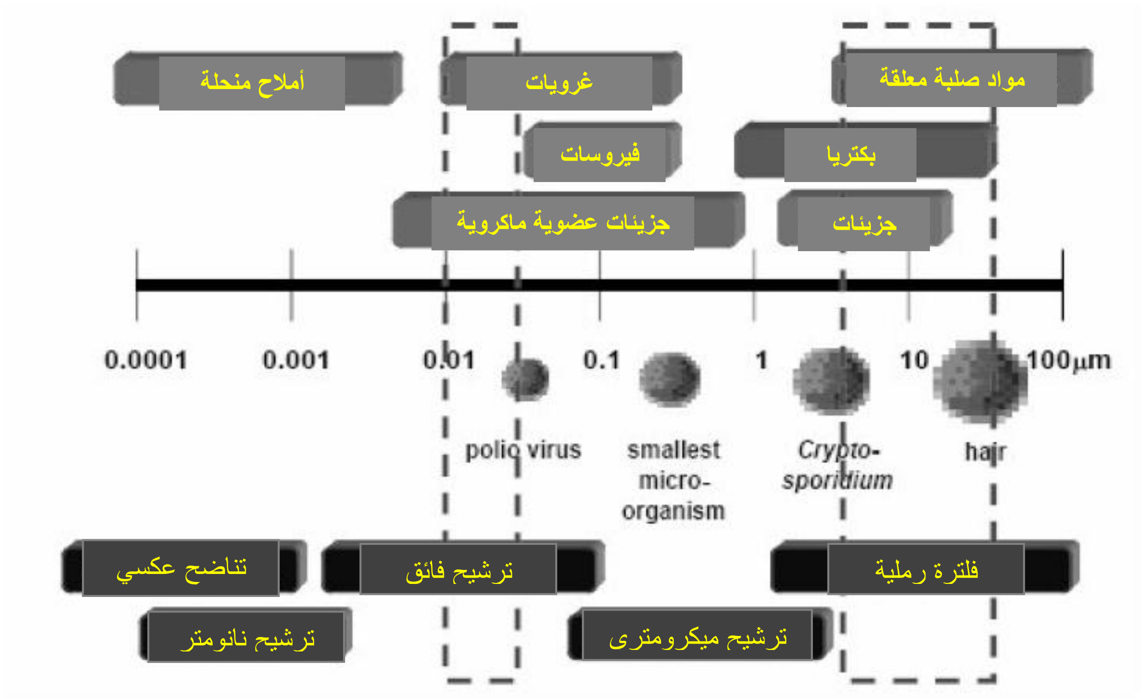
1- الترشيح عبر طبقة من مرشح حبيبي: وهو يحتوي على حبيبات الرمل أو حبيبات السيليكا أو من فحم الأنتراسيت. وتستخدم أيضاً مرشحات من الفحم الفعال الذي يمتز العديد من الشوائب مثل كبريت الهيدروجين والكلور والمواد العضوية ويزيل هذا المرشح الرائحة الكريهة والطعم السيئ للماء، وتعتمد كفاءة هذا النوع على أبعاد الحبيبات بحيث تؤمن مسامية جيدة لعبور الماء الراشح.

2- الترشيح عبر كعكة الترشيح: في هذا المرشح تتشكل كعكة من المواد الموجودة في التغذية على وسط الترشيح بحيث تسمح للمواد بالترسب وتشكيل كعكة وذلك بدون تطبيق أي ضغط إضافي وبعد فترة من الزمن، ومن أجل سماكة محددة للكعكة، يدخل المرشح في حالة العمل وهذه الكعكة تساعد في زيادة سرعة عملية الترشيح وتجنب توسخ ثقوب المرشح.

3- الترشيح باستخدام الأغشية: وهي عملية فصل فيزيائية أيضاً تستخدم أغشية نصف نفوذة لإزالة المواد المعلقة ذات أبعاد صغيرة جداً والمواد المنحلة كالأملاح. وهو يتضمن عدة

أنواعاً من الأغشية تتدرج حسب كبر مساماتها وهي: الترشيح الميكرويMF، الترشيح الفائقUF، الترشيح النانوني NF والتناضح العكسيRO [32, 31, 23].

يوضح الشكل (3-1): أبعاد الجسيمات والمعلقات في مياه تغذية محطات تحلية المياه بالتناضح العكسي وطريقة حجزها حسب الحجم [23]:



الشكل رقم (3-1): مجال عمليات الفلترة.

3-2-3: عمليات المعالجة الكيميائية: تتضمن هذه العمليات :عمليات التعديل والأكسدة.

1- التعديل: يتم تعديل المياه الملوثة الحمضية أو القلوية بهدف تجنب تآكل المواد الإنشائية في المعدات التقنية. ولمنع تعطيل العمليات البيوكيميائية في أجهزة الأكسدة البيولوجية والمصادر المائية ولترسيب المعادن الثقيلة من المياه الملوثة. ويتم التعديل بأحد الطرق:

- التعديل المشترك للمياه الملوثة الحمضية والقلوية.
- التعديل بإضافة مواد كيميائية مثل: $NaOH, Ca(OH)_2, Na_2CO_3, CaO$
- الترشيح عبر مواد قلوية مثل : $MgCO_3, MgO, CaCO_3, CaO$

2- الأكسدة: تستخدم طرق الأكسدة لتعقيم المياه الملوثة التي تحتوي على ملوثات سامة أو مركبات لا يجدي استخلاصها من المياه الملوثة. ويمكن استخدام مؤكسدات مختلفة منها: الكلور، هيبوكلوريت الكالسيوم، هيبوكلوريت الصوديوم، الأوزون، الأكسجين، الماء الأوكسجيني [33].

3-2-4: عمليات المعالجة الفيزوكيميائية: تستخدم هذه العمليات لوحدها أو مع طرق أخرى (فيزيائية، كيميائية، بيولوجية) ومن طرق المعالجة الفيزوكيميائية:

1- التخثير: هي عملية تجميع الجسيمات المعلقة نتيجة التأثير المتبادل فيما بينها وتشكيل كتل كبيرة. وتستخدم لزيادة سرعة ترسب الملوثات التي تكون على شكل مواد معلقة ناعمة أو مستحلبة ويتم إضافة مواد خاصة تدعى مخثرات.

2- التلبيد: عملية تجميع الجسيمات المعلقة في المياه الملوثة بإضافة مواد ذات وزن جزيئي ضخم تدعى ملبدات وفي هذه العملية يتم التلبيد بتجميع الجسيمات بواسطة التماس المباشر والتأثير المشترك لجزيئات الملبد الممتزة على الجسيمات.

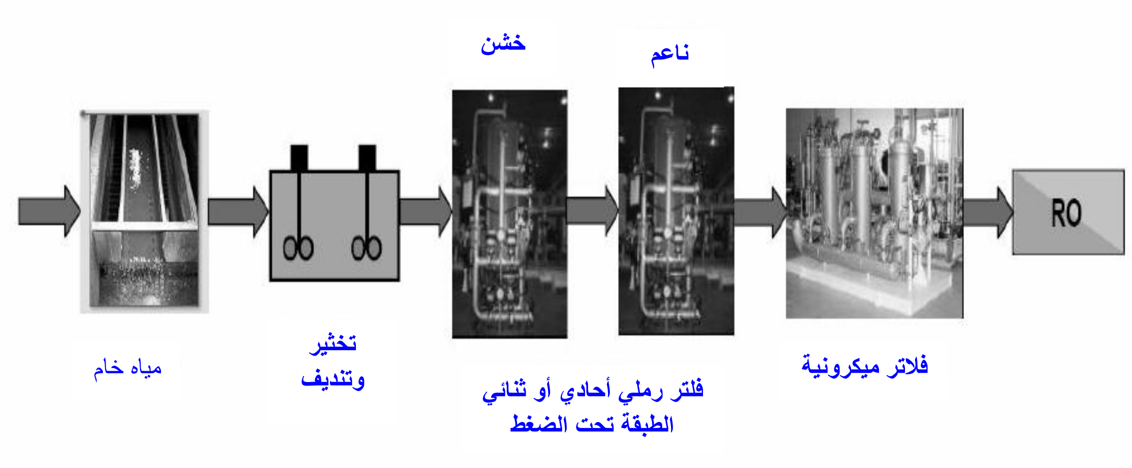
3- التعويم: هي عملية تعليق لجسيمات المادة الخاضعة للتعويم على سطح الفصل بين طورين. ويستخدم الفصل بالتعويم للمواد المعلقة الناعمة غير المنحلة ويتم بطرق عديدة منها التعويم الكيميائي أو التعويم البيولوجي أو التعويم الشاردي.

4- الإمتزاز: يستخدم لتنقية المياه الملوثة من المادة العضوية المنحلة بعد المعالجة البيولوجية. ومن محاسن عملية الإمتزاز الكفاءة العالية وإمكانية تنقية المياه الملوثة بعدة مواد واسترجاع هذه المواد، ويمكن أن تكون المواد المازة قابلة للتجديد أو غير قابلة للتجديد تتلف مع الملوثات.

وتصل فاعلية التنقية الإمتزازية إلى 90% - 80 تبعاً لطبيعة المادة المازة وسطح الإمتزاز والبنية المسامية. ومن المواد المازة: السيليكاجل والألومينا والفحم الفعال وهو الأكثر استخداماً.

5- التبادل الشاردي: يستخدم التبادل الشاردي لإزالة شوارد المعادن من المياه الملوثة مثل: النحاس، الكروم، النيكل، الرصاص وكذلك مركبات الزرنيخ والفوسفور والسيانيد. ويستخدم بشكل كبير لإزالة قساوة المياه الناتجة عن وجود كربونات وبيكروبونات المغنزيوم والكالسيوم. ويمكن تعريف التبادل الشاردي على أنه عبارة عن تفاعل بين المحلول والطور الصلب الذي يتمتع بمقدرة تبادل الشوارد الموجودة في بنيته الكيميائية مع شوارد موجودة في المحلول (مشابهة لها في الشحنة). وتتمتع مواد التبادل الشاردي بخاصية انتقائية تجاه الشوارد خصوصاً التي نريد إزالتها.

يوضح الشكل(3-2): مراحل المعالجة التقليدية لمياه تغذية محطات التحلية بالتناضح العكسي:



الشكل رقم (3-2) : المعالجة التقليدية النموذجية [23].

3-2-5: عمليات التنقية البيولوجية: تستخدم طرق التنقية البيولوجية على نطاق واسع في معالجة المياه الملوثة. وتعتمد في مضمونها على مقدرة البكتريا على استخدام الملوثات العضوية وبعض المركبات اللاعضوية الموجودة في المياه الملوثة بمثابة ركيزة غذائية.

3-2-6: عمليات التبخير والتقطير: تتم عمليات التبخير والتقطير باستخدام طاقة حرارية من أجل تبخير الماء. وهذا يؤدي إلى زيادة تركيز المواد الصلبة في الماء الملوث. ويؤخذ الماء المتبخر إلى مبادلات حرارية، حيث يتم تكثيف الماء فيها. وبالتالي نحصل على ماء نقي يعاد إلى نظام تزويد مياه المراجل وتستهلك هذه العملية كمية كبيرة من الطاقة. إن المعالجة الأولية لمياه التغذية يجب أن تشمل كل مراحل المنظومة من أجل الوثوقية المستمرة بالتشغيل.

مثال: إن التصميم و/أو التشغيل الخاطئ للمروق سينتج عنه حمولة إضافية على الفلتر الرملي فوق حدود تشغيله. إن المعالجة الأولية غير الملائمة غالباً ما تستلزم تنظيفاً متكرراً للأغشية لتعويض الناقلية و طرد الأملاح. إن تكلفة التنظيف والزمن اللازم لإنجازه والزمن الضائع يجب أخذها بالاعتبار. إن التخطيط الممتاز لمعالجة مياه التغذية سيعتمد على:

1- مصدر مياه التغذية.

2- تركيب مياه التغذية.

3- التطبيق.

3-3: اعتبارات تصميم منظومة التناضح العكسي للسيطرة على النشاط الميكروبيولوجي [54]:

إن التوسخ البيولوجي أحد أهم المشاكل القاسية و الشائعة في تشغيل منظومات التناضح العكسي. إنه من المهم بشكل خاص السيطرة على النشاط الميكروبيولوجي في المحطات التي تستخدم المياه السطحية والمياه الحاوية على البكتريا كمصدر للتغذية [25, 20].

إن المنظومة المصممة بدقة تشترط لنجاحها ما يلي:

1- إذا استخدمت الخزانات أو الأحواض المفتوحة، يجب وبشكل مسبق أن تصنع للسماح بالتعقيم الدقيق في المصدر المفتوح وكذلك الجزء من التيار الداخل للمنظومة.

2- إذا استخدمت الخزانات محكمة الإغلاق فإنها يجب أن تزود بفتحات للتهوية والتنفس وأدوات لحجز للبكتريا مثل فلتر HEPA.

3- يجب تجنب الوصلات الأنبوبية الطويلة في التصميم، وعند عدم القدرة على تجنب ذلك يجب تعقيمها بشكل دوري.

4- يجب أن تكون جميع مكونات منظومة المعالجة الأولية مثل الأنابيب والمتفرعات والفلاتر وخزانات الاحتجاز، غير نفوذة لأشعة الشمس لتجنب النمو البيولوجي.

5- يجب تجنب التجهيزات الاحتياطية ذات السطح الكبير مثل الفلاتر الرملية والخرطوشية. وإذا لم يتم تجنبها يجب تجهيزها بفتحات صرف لطرح كيماويات التعقيم بعد تعقيم هذه التجهيزات وقبل وصلها وتشغيلها في النظام.

6- يجب أن تصنع المنظومة لتمكين الفصل الفيزيائي لقسم التناضح العكسي عن قسم الفلترة النانومترية من المعالجة الأولية باستخدام الفلنجات. ويسمح هذا باستخدام الكلور للتعقيم في مرحلة المعالجة الأولية. بينما تكون أغشية التحلية محمية من التماس بالكلور ويجب أن يركب مخرج الصرف عند أدنى نقطة من الفلنجة ليسمح بالتفريغ الكامل لمحلول الكلور.

7- اختيار الغشاء: تزود بعض الأغشية من شركة فلمتك بسطح خاص معالج لمقاومة التوسخ البيولوجي، وتدعى BW30FR (Brackish water fouling resistance) ويتم اختيار هذه الأغشية بشكل خاص للمياه السطحية وتيارات مياه المعالجة الثالثية[7]. كذلك الأغشية المعروضة من هيدرونتك والمخصصة لمقاومة التوسخ تدعى Low Fouling Membrane Technology (LFC3). ويوجد أنواع أخرى من الأغشية مهيأة بشكل كامل لتطبيقها في الأماكن التي تتطلب درجة كبيرة من النظافة. تقلل هذه الأغشية المساحة الراكدة وتستجيب مع معايير إدارة الأغذية والأدوية FDA (Food and Drug Administration) [34].

يوضح الجدول (3–1) التالي خيارات المعالجة الأولية للتوسخ وتشكل القشور وأهم طرق الحد من توسخ أغشية التناضح العكسي [7]:

المعالجة الأولية \ سبب التوسخ	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$BaSO_4$	$SrSO_4$	CaF_2	SiO_2	SDI	Fe	Al	Bacteria	Oxid. Agents	Org. matter
إضافة الحمض	●							○				
مانع الترسيب	○	●	●	●	●	○		○				
إزالة القساوة بالتبادل الشاردي	●	●	●	●	●							
إزالة القلوية بالتبادل الشاردي	○	○	○	○	○							
إزالة القساوة بالكلس	○	○	○	○	○	○	○	○				
تنظيف وقائي	○					○	○	○	○	○		○
ضبط متغيرات التشغيل	○	○	○	○	○	●						
الترشيح الرملي						○	○	○	○			
الأكسدة والفلترة								●				
التخثير في الخط							○	○	○			○
التخثير والتنديف						○	●	○	○			●
فلترة ميكروية و فائقة						●	●	○	○	○		●
الفلترة الخرطوشية						○	○	○	○	○		
الكلورة										●		
نزع الكلور											●	
المعالجة بالصدمة										○		
معالجة وقائية بالمبيد										○		
فلترة GAC حبيبات الفحم الفعال										○	●	●

● فعال جداً ○ ممكن

إن من أهم العوامل المؤدية لتوسخ الأغشية وانسدادها بالإضافة لمياه التغذية هو سوء تشغيل محطة التحلية. لذلك هناك نقاط مهمة يجب الأخذ بها عند إقلاع محطات التناضح العكسي وتشغيلها بحيث يجب التأكد من إتمام النقاط التالية:

1- تركيب الأغشية بالشكل الصحيح.

2- إنجاز عملية المعالجة الأولية لمياه التغذية كما هو مطلوب.

3- تركيب خرطوشات الفلاتر الميكرونية.

4- الغسيل العكسي للفلاتر وشطفها.

5- تشغيل الإنذار للمؤشرات التالية: الأكسدة- إرجاع (ORP)، عدم وجود بيوسولفيت الصوديوم، عدم وجود الحمض، ارتفاع درجة الحرارة، عدم وجود مانع الترسيب.

6- تركيب محابس التحكم بالضغط.

7- تركيب أجهزة القياس والتحكم و معايرتها.

8- التأكد من أن الضغط على الماء المنتج أقل من 5 psi .

9- تركيب محابس العينات.

10- إحكام تثبيت أوعية الضغط وأنابيب التشغيل والغسيل.

11- حماية الأغشية من الحرارة المرتفعة.

12- التأكد من أن المضخات والمحابس جاهزة للعمل: محبس الماء المنتج مفتوح، محبس التحكم بالصرف مفتوح، محبس التغذية مغلق جزئياً ومحبس المضخة الإضافية مفتوح جزئياً بحيث يكون تدفق التغذية 50% > من العادي.

13- الكشف على الوضع الصحيح لجميع المحابس.

14- التخلص من الهواء خارج المنظومة عند ضغط منخفض.

15- الكشف عن التهريبات.

16- إغلاق محبس التحكم بضغط التغذية بشكل جزئي (خط رجوع الضغط المرتفع مفتوح).

17- تشغيل مضخة الضغط العالي.

18- الفتح ببطء لمحبس التحكم بالتغذية.

19- الإغلاق ببطء لمحبس التحكم بالصرف لضبط المردود التصميمي.

20- ضبط تدفق المنتج من خلال محابس التغذية والصرف.

21- الكشف على جمع المواد الكيميائية .

22- ترك المنظومة لتستقر مدة ساعة.

23- تسجيل جميع متغيرات التشغيل.

24- الكشف على ناقلية المنتج من كل وعاء.

25- أخذ عينات مياه وتحليلها.

26- مقارنة النتائج للمنتج مع المواصفات.

27- جعل المحطة تعمل بشكل أوتوماتيكي.

28- تسجيل معلومات التشغيل على التتالي لمدة 48 ساعة. هذه المعلومات ستكون أساس القراءات في المستقبل.

الفصل الرابع Chapter Four

طرق معالجة توسخ أغشية التناضح العكسي

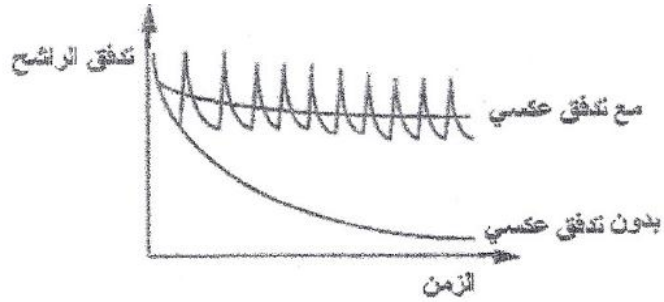
Treatment Methods of Reverse Osmosis Membranes Fouling

4-1: طرق تنظيف الأغشية المتسخة:

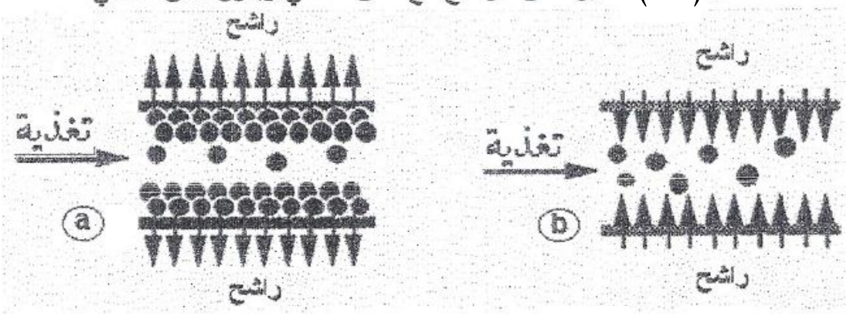
على الرغم من العمليات العديدة المتبعة لتقليل التوسخ فإن عملية التنظيف ضرورية لإزالة أي جزيئات أو مواد مترسبة على سطح الغشاء [35]. وتتم عملية التنظيف بثلاث طرق رئيسية:

4-1-1: الطريقـة الهيدروليكيـة: هذه الطريقة قابلـة للتطبيق فـي الترشيح الميكروي والترشيح الفائق وهي تتضمن إجراء عملية تدفق عكسي (Back Flushing) للراشح. وذلك عن طريق ضغط الراشح ليتدفق إلى جهة التغذية، ومن ثم تخفيف هذا الضغط بحيث تتم العملية بشكل متكرر، مما يؤدي إلى إزالة الطبقة المترسبة على سطح الغشاء وإزالة التوسخ.

يبين الشكل (4-1) تغير تدفق الراشح عبر الزمن باستخدام التدفق العكسي وبدونه أما الشكل (4-2) يصف العملية الأساسية للتدفق العكسي [9, 6]:



الشكل (4-1) تغير تدفق الراشح مع تدفق عكسي وبدون تدفق عكسي



الشكل (4-2) إزالة الطبقة المترسبة بالغسيل العكسي

a: بدون تدفق عكسي ، b: مع تدفق عكسي

4-1-2: الطريقة الميكانيكية: تستخدم هذه الطريقة حصراً في الأغشية من النمط الأنبوبي في الترشيح الميكروي والترشيح الفائق. حيث تستخدم كرات أسفنجية مرنة قطرها أكبر قليلاً من قطر الأنبوب، وتقوم بجرف الأوساخ معها أثناء عملية الضخ مع المحلول المراد ترشيحه.

4-1-3: الطريقة الكيميائية [35]: تعتبر هذه الطريقة الأكثر شيوعاً في تنظيف أغشية التناضح العكسي لإزالة التوسخ باستخدام مواد كيميائية مختلفة. تعتمد نوعية المواد الكيميائية وزمن التنظيف للأغشية على نوعية المياه المعالجة ونوع الغشاء ومقاومته للمواد الكيميائية. غالباً يتم العمل على تنظيف الأغشية بالمياه الدافئة، أي عند درجة حرارة 35-50°C.

ومن أجل أن تتم عملية التنظيف بشكل جيد يجب الأخذ بالاعتبار معدل العبور النوعي للماء النقي Pure Water Flux(PWF) والمحدد عند شروط ثابتة من ضغط ودرجة حرارة وفقاً لمواصفات الغشاء المصنع، والتي تحددها الشركة المصنعة. وحتى يكون الغشاء نظيفاً يجب أن يكون معدل العبور النوعي للماء النقي PWF أكبر من 90% من قيمة الراشح عند بداية استخدام الغشاء. يفضل أثناء الغسيل عدم استخدام مواد كيميائية، وبشكل عام المواد المستخدمة في التنظيف هي:

1- ماء دافئ.

2- القلويات: مثل هيدروكسيد الصوديوم NaOH.

3- الحموض القوية: مثل حمض الفوسفور H_3PO_4 والضعيفة مثل حمض الخل وحمض الليمون بتركيز محدد.

4- منظفات قلوية وغير شاردية.

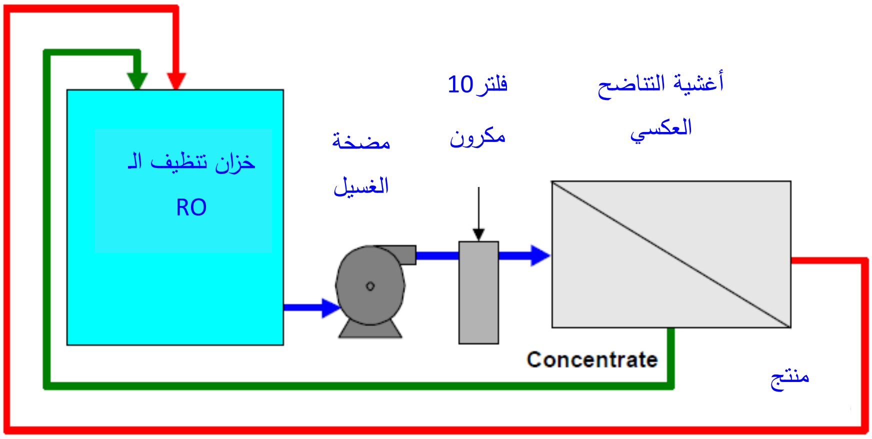
5- أنزيمات: وتستخدم عند وجود ترسبات حيوية .

6- معقمات: مثل الماء الأوكسجيني H_2O_2 وهيبوكلوريت الصوديوم NaOCl، تستخدم من أجل الأغشية اللاعضوية، ولا يمكن استخدامها بشكل مباشر من أجل الأغشية العضوية. وذلك لاحتوائها على المؤكسدات التي تؤثر مباشرة على الطبقة العضوية.

7- مواد تشكل المعقدات.

يبين الشكل (4–3) مخططاً تدفقياً لجهاز الغسيل [34, 8] مع صورة للجهاز.

وفي حال عدم الوصول للنتيجة المطلوبة بعد عملية الغسيل بالماء الساخن للمرة الثانية، أي بعد إجراء عمليات الغسيل الأخرى يجب استبدال الغشاء أو العمل عند قيم PWF < 90% ويعتمد ذلك على نوع الغشاء وثمنه وكلفة التشغيل.





الشكل (4–3) مخطط تدفقي لجهاز عملية الغسيل واختباراتها مع صورة للجهاز.

4-2: طريقة تنظيف التوسخ البيولوجي:

تتم عملية تنظيف أغشية التناضح العكسي في المحطة من التوسخ البيولوجي وفق الخطوات الآتية:

1- تحضير أحد المحاليل المذكورة في الجدول (4-1). 2- إدخال محلول التنظيف للمحطة. 3- تدوير محلول التنظيف. 4- نقع الأغشية في المحلول لعدة ساعات أو أكثر. 5- الضخ بتدفق عالي لطرد المحلول. 6- غسيل للخارج. 7- إعادة إقلاع المحطة.

الجدول (4-1): تركيب محاليل غسيل التوسخ البيولوجي للأغشية[34, 8, 7].

محاليل التنظيف	المحلول
0.1 wt % NaOH pH 12, 30°C maximum	Preferred مفضل
0.1 wt % NaOH 0.025 wt % Na-DDS # pH 12, 30°C maximum	Preferred مفضل
0.1 wt % NaOH 1.0 wt % Na_4EDTA ## pH 12, 30°C maximum	Alternate بديل

sodium salt of dodecyl sulfate (sodium lauryl sulfate) : Na-DDS الملح الصوديومي لكبريتات الدوديسيل (مادة منظفة) أو كبريتات لوريل الصوديوم.

tetra sodium salt of ethylene diamine tetra acetic acid : Na4EDTA (مادة تمنع الترسبات الكلسية).

حسب الخبرة التجريبية فإن محلول التنظيف Na_4EDTA مع ماءات الصوديوم وجد بأنه كان أقل فاعلية من محاليل ماءات الصوديوم القياسية أو محاليل ماءات الصوديوم مع محلول التنظيف Na-DDS. وعموماً ومن أجل أي محلول فإن زمن التماس يعتبر عاملاً حاسماً في المعالجة. حيث أن عملية النقع ليوم أو أكثر يمكن أن تكون ضرورية لاستعادة فاعلية المنظومة. بعد عملية تنظيف الأغشية من المفيد جداً تنظيفها مرة إضافية ليتم إزالة أي طبقة بيولوجية يمكن أن تكون موجودة على سطح الغشاء.

حيث أن أي بقايا للطبقة البيولوجية الرقيقة ستميل لجذب الشوائب والترسبات وبالتالي توسخ الغشاء، لذلك فإن التنظيف الإضافي سوف يزيد من الوقت والفترة اللازمة للتنظيف اللاحق. وفي حالات التوسخ البيولوجي الشديد يمكن استخدام جرعة قوية من المبيدات الحيوية للحصول على تنظيف جيد للغشاء.

الجدول (4-2): أهم محاليل الغسيل المستخدمة لإزالة التوسخ من على سطح أغشية التناضح العكسي[34, 8, 7]:

المنظف / الموسخ	0.1 wt % NaOH	0.1 wt % NaOH with 1.0 wt % Na_4EDTA	0.1 wt % NaOH with 0.025 wt % Na-DDS	0.2 wt % HCl	2% citric acid	1.0 wt % $Na_2S_2O_4$	0.5 wt % H_3PO_4	1.0 wt % NH_2SO_3H
$CaCO_3$	----	----	----	Preferred مفضل	Alternative بديل	Optimal الأفضل	Alternative بديل	----
$CaSO_4$, $BaSO_4$	----	Preferred مفضل	----	----	----	----	-----	----
أكاسيد وهيدروكسيدات المعادن مثل Fe	----	----	----	----	Alternative بديل	Preferred مفضل	Alternative بديل	Alternative بديل
قشور الفلوريد	----	Preferred مفضل	----	----	-----	----	-----	----
قشور الفوسفات	----	----	----	Preferred مفضل	----	----	----	----
غرويات لاعضوية (الطمي)	----	----	Preferred مفضل	----	----	----	----	----
السيليكا	Alternative بديل	Alternative بديل	Preferred مفضل	----	----	----	----	----
الطبقة البيولوجية	Alternative بديل	Alternative بديل	Preferred مفضل	----	----	----	----	----
المواد العضوية	Alternative بديل	Alternative بديل	Preferred مفضل	----	----	----	----	----

- Na_4EDTA : ملح رباعي صوديوم ايثلين ثنائي أمين رباعي حمض الخل.
- Na-DDS : ملح صوديوم كبريتات الدودوسيل (صوديوم لوريل كبريتات).

الفصل الخامس Chapter Five

معالجة المياه بالتخثير الكهربائي

Water Treatment by Electro coagulation

5-1: مقدمة:

يعتبر التخثير الكهربائي طريقة فعالة وخياراً بديلاً في معالجة المياه، حيث يمكن اعتماده في معالجة المياه نظرا للكفاءة العالية التي يحققها في إزالة عدد كبير من الملوثات [1].

هناك العديد من الأبحاث التي أجريت لدراسة فاعلية هذه الطريقة في إزالة المواد المعلقة والغرويات والعكارة من المياه السطحية [36, 37]، ومياه الصرف[38, 39]، كما استخدمت بكفاءة في معالجة مياه الصرف الصناعية [40]. ومن أهم ميزات هذه الطريقة هي عدم زيادة ملوحة المياه الخام الداخلة لمحطة التناضح العكسي [3].

5-2: المواد الغروية:

تحتوي المياه الطبيعية ومياه الصرف على: مواد منحلة ومواد معلقة ومواد غروية. إن المواد الغروية صعبة الإزالة نتيجة لاستقرارها، وهذا يعقد معالجة المياه، ويتطلب معرفة عميقة بالحالة الغروية [3]. تكون الغرويات في المياه إما من أصل معدني، أو من أصل عضوي، وتقسم الغرويات من هذه الناحية إلى فئتين:

- الفئة المحبة للماء Hydrophilic: ويعود استقرارها إلى ارتباطها بالماء وضمها إليه أكثر مما يعود إلى الشحنة الضعيفة التي يمكن أن تمتلكها. مثل: الصابون، المنظفات الاصطناعية.
- الفئة الكارهة للماء Hydrophobic: يرجع توازنها إلى الشحنة الكهربائية وقوى التنافر، واليها تنتمي معظم الغرويات العضوية واللاعضوية في المياه الطبيعية.

خواص المحاليل الغروية [3]:

- الخواص البصرية: قد تكون المحاليل الغروية شفافة أحيانا، لكنها غالبا عكرة. تكشف هذه المحاليل الطريق الذي تسلكه الحزم الضوئية، وهذا لا تقوم به المحاليل الحقيقية.

- الخواص الحركية:

أ- تعبر المحاليل الغروية بشكل عام المرشحات العادية بدون فصل، ويمكننا مع ذلك حجز الجسيمات الغروية بفضل أغشية نصف نفوذة.

ب- سرعة الترسب: إن الجسيمات الغروية غير حساسة لفعل الثقالة، فلا تترسب حتى وإن استخدمنا قوة الطرد المركزي العادية، ولعزل الجسيمات الغروية يلزم استخدام جهاز قوة الطرد المركزي الفائقة حيث يدور بسرعة 60000 دورة/د.

ت- اللزوجة: إن المحاليل الغروية كارهة للمذيب، ولها لزوجة وتوتر سطحي قريبان من التوتر السطحي للمذيب النقي. تتبع اللزوجة أيضا لشحنة الجسيمة.

- الخواص الكهربائية: إن المحاليل الغروية ذات ناقلية ضعيفة للكهرباء، وتنتج شحنة الجزيئات إما عن المجموعات القابلة للتشرد أو عن شوارد ممتزة. إذا وضعنا في محلول غروي قطبين موصولين إلى مولد تيار كهربائي مستمر، تحصل هجرة للجسيمات المشحونة كهربائياً وتدعى هذه الظاهرة بالرحلان الكهربائي. تخضع الجسيمات من جهة إلى قوة تجاذب كهربائية (الغرويات الموجبة تجذب من قبل المهبط والسالبة تجذب نحو المصعد)، وتخضع من جهة أخرى إلى قوة كبح تنتج عن لزوجة الوسط، تصل الجسيمات إلى سرعة حدية ثابتة تابعة لشكل هذه الجسيمات وللكتلة الوسطية وبشكل خاص لشحناتها الفعلية (تتبع هذه الحركية أيضا للزوجة ولثابت العازلية الكهربائية ولدرجة حرارة الوسط)، تتجه الشوارد الصغيرة ذات الشحن المتعاكسة باتجاهين متعاكسين. تختلف الشحنة الفعلية لجسيم غروي عن الشحنة الحقيقية نتيجة لتأثير الشوارد المجاورة ذات الإشارة المعاكسة، والتي تلتصق بقوة على الجسيم. إن الكمون الكهربائي مهم جدا في معالجة المياه لأنه يحدد استقرار المحاليل الغروية، وبالتالي يحدد إزالة استقرارها أيضا. تستخدم المواد الكيميائية المخثرة لإزالة استقرار المواد الغروية المعلقة وتعديل شحنتها، ثم تجميع هذه الجسيمات في مرحلة تشكيل الندف ليتم التخلص منها في مراحل المعالجة اللاحقة [3].

5-3: مبدأ عملية التخثير الكهربائي:

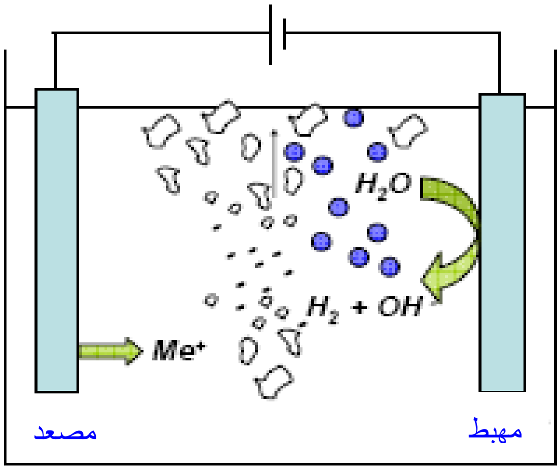
تعتمد عملية التخثير الكهربائي على تمرير تيار كهربائي مستمر عبر صفائح معدنية (حديد – فولاذ – ألمنيوم...) مغمورة في المياه المراد معالجتها [42, 41].

فعند تمرير التيار الكهربائي عبر الالكترود المعدني يتأكسد المعدن محرراً الشاردة الموجبة M^{n+} عند المصعد، وبشكل متواقت يتم إرجاع الماء إلى غاز الهيدروجين وشاردة الهيدروكسيل OH^- عند المهبط. كما في المعادلات التالية:

$$M \rightarrow M^{n+} + n\,e^- \qquad (1)$$

$$2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2\,OH^- \qquad (2)$$

تتحد الشاردة المعدنية مع شاردة الهيدروكسيل مشكلة مركبات هيدروكسيلية تملك خواص امتزاز عالية فتعمل على تحطيم استقرار الجسيمات الغروية، وتشكل تجمعات مع الملوثات. كما يساعد انطلاق غاز الهيدروجين في عملية المزج وتعزيز تعويم الملوثات، فعند تشكل الندف تقوم فقاعات الغاز بتعويمها فتزال الملوثات مشكلة طبقة طافية على سطح السائل[1].



الشكل (1-5): يوضح مبدأ عمل مفاعل التخثير الكهربائي.

استخدام إلكترودات من الألمنيوم: عند تطبيق تيار كهربائي مستمر على إلكترودات الألمنيوم المغمورة بالمياه في مفاعل التخثير الكهربائي، تحدث التفاعلات التالية:

تفاعل أكسدة على المصعد : $$Al - 3\,e^- \rightarrow Al^{3+} \qquad (1)$$

تفاعل إرجاع عند المهبط : $$2\,H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2\,OH^- \qquad (2)$$

تتحد شوارد الألمنيوم المتحررة من المصعد مع شوارد الهيدروكسيل الناتجة عن تحلل الماء نتيجة مرور التيار الكهربائي فيه، فيتشكل مركب هيدروكسيل الألمنيوم وفقا للتفاعل التالي:

$$Al^{3+} + 3OH^- \rightarrow Al\,(OH)_3 \qquad (3)$$

يشكل مركب هيدروكسيد الألمنيوم ندفا تتميز بمقدرة عالية على امتزاز المواد المعلقة في المياه. حيث يقوم بتعديل شحنتها وتتخلص من حالة الاستقرار، وبالتالي تسهل إزالتها بطرق لاحقة (الترسيب والترشيح). أما على المهبط فتنطلق فقاعات الهيدروجين وتسبب تعويم قسم من الندف والملوثات المتشكلة إلى السطح.

رغم بساطة تشغيل نظام التخثير الكهربائي، إلا انه يحدث ضمن المفاعل الكثير من التفاعلات. وتعتبر التفاعلات الأساسية كما يلي [44, 43]:

التفاعلات الجارية عند مصعد الألمنيوم: $Al \rightarrow Al^{3+} + 3\,e^-$

والتفاعل الجاري بكامل حجم المحلول: $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3\downarrow + 3H^+$

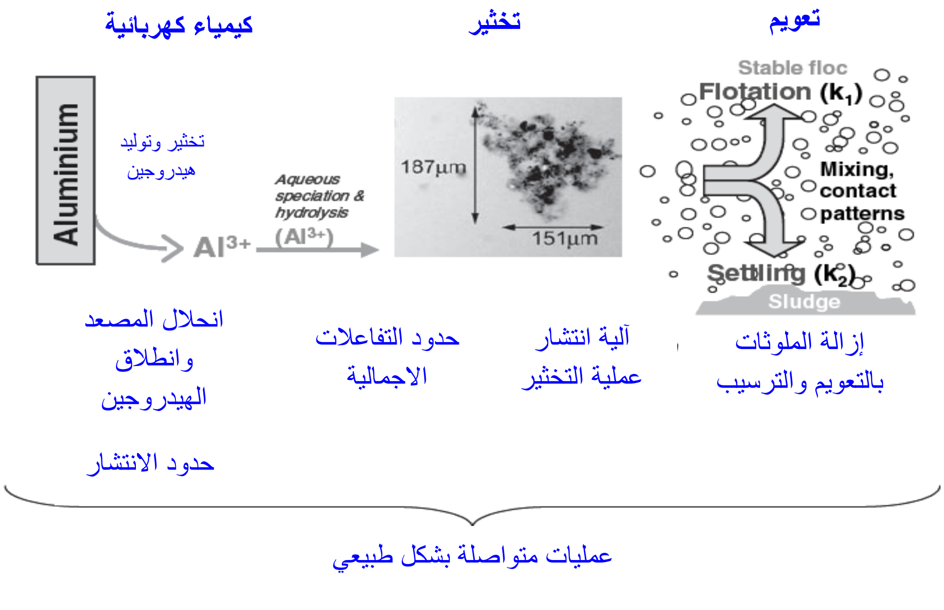
كذلك تتحول شوارد الكلورايد الموجودة في المياه إلى غاز الكلور – عند المصعد – والذي يساهم في تعقيم المياه وقتل البكتريا، كما يلي: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2\,e^-$

التفاعلات الجارية عند مهبط الألمنيوم:

$$Al + 4OH^- \rightarrow Al(OH)_4 + 3\,e^-$$

$$2H_2O + 2\,e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$$

$$O_2 + 2H_2O + 4\,e^- \rightarrow 4OH^-$$



الشكل (2–5): يوضح آلية تشكل الندف في عمليات التخثير الكهربائي [43].

يمكن شرح آلية الأكسدة والإرجاع الحاصلة على أقطاب الحديد كما يلي [47, 46, 45, 2]:

الآلية الأولى:

المصعد $Fe (s) \rightarrow Fe^{2+} (aq) + 2 e^{-}$

$Fe^{2+} (aq) + 2 OH^{-} (aq) \rightarrow Fe(OH)_2 (s)$

المهبط $2 H_2O (l) + 2 e^{-} \rightarrow H_2 (g) + 2 OH^{-} (aq)$

المجموع $Fe (s) + 2 H_2O (l) \rightarrow Fe(OH)_2 (s) + H_2 (g)$

الآلية الثانية:

المصعد $4 Fe (s) \rightarrow 4 Fe^{2+} (aq) + 8 e^{-}$

$4 Fe^{2+} (aq) + 10 H_2O (l) + O_2 (g) \rightarrow 4 Fe(OH)_3 (s) + 8 H^{+} (aq)$

المهبط $8 H^{+} (aq) + 8 e^{-} \rightarrow 4 H_2 (g)$

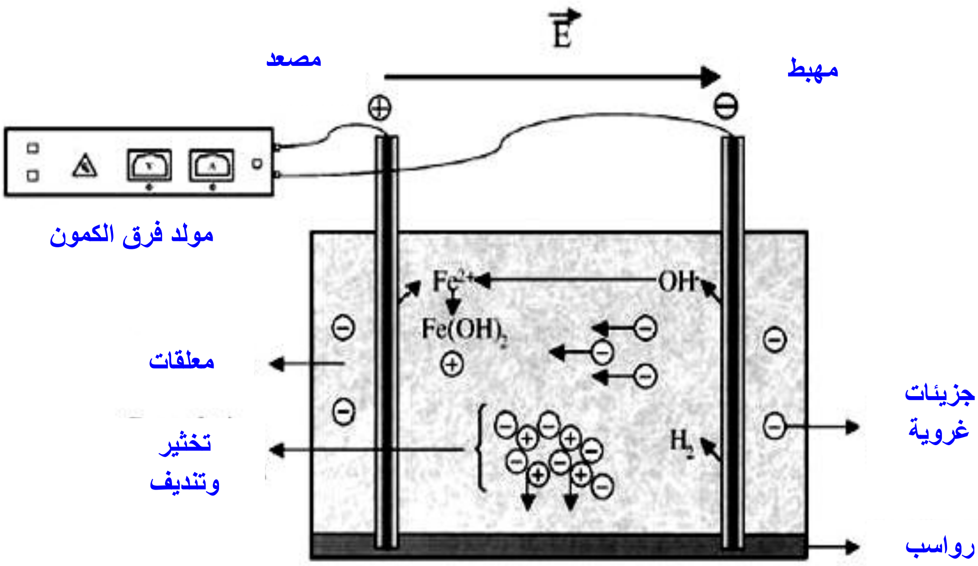
المجموع $4 Fe (s) + 10 H_2O (l) + O_2 (g) \rightarrow 4 Fe(OH)_3 (s) + 4 H_2 (g)$

حيث: s: صلب. aq: شاردة. l: سائل. g: غاز.

ينحل معدن الحديد عند المصعد ليعطي بشكل مستمر شوارد الحديد المنحلة القريبة من سطح المصعد. يعمل هيدروكسيد الحديد المتشكل على الجذب الكهربائي للغرويات الموجودة بقربه (هي غالباً ذات شحنة سالبة كهربائياً، والتي تنجذب بفعل المجال الكهربائي نحو القطب الموجب. يشكل مركب هيدروكسيد الحديد ندفاً تتميز بمقدرة عالية على امتزاز (ادمصاص) المواد المعلقة والعكارة في المياه، حيث يقوم بتعديل شحنتها وتخليصها من حالة الاستقرار، وبالتالي تسهل إزالتها بالترشيح أو الترسيب. يزيد المجال الكهربائي من قابلية المواد المعلقة المشحونة للانجذاب إلى الجزيئات الأخرى مقارنة بالجرعات الكيميائية والتحريك في طريقة التخثير الكيميائي التقليدية. لذلك تحسن تقنية التخثير الكهربائي عملية التخثير الكيميائي.

من الملاحظ أن الآلية الشاملة هي عبارة عن اتحاد كافة الآليات المترافقة الجارية. قد تختلف الآلية السائدة مع استمرارية التفاعل، و كذلك من الممكن إن تتغير وفقا للتغيرات في معايير التشغيل وأنواع الملوثات [1].

يبين الشكل التالي عدد التفاعلات المتبادلة الممكنة الحدوث في خلية التخثير الكهربائي[46, 2]:



الشكل (5-3): يوضح مبدأ عمل مفاعل التخثير الكهربائي بأقطاب من الحديد.

5-4: ميزات طريقة التخثير الكهربائي [3, 2, 1]:

إن لطريقة التخثير الكهربائي العديد من الميزات، نذكر منها ما يلي:

1- تكاليف إنشاء وتشغيل منخفضة، وهي تحتاج مساحات صغيرة لإنشائها.
2- لا نحتاج لإضافة مواد كيميائية مخثرة.
3- إن حجم الرواسب الناتجة صغير، وهو أقل بنسبة (2-3) مرات من حجم الرواسب الناتجة عن المعالجة بطريقة التخثير الكيميائي.
4- هذه الطريقة لا تؤدي لزيادة كمية الشوارد المعدنية المنحلة في المياه المعالجة.
5- تبين انه يتحرر غاز الكلور نتيجة التفاعلات الجارية ضمن مفاعل التخثير الكهربائي، ومن المعروف انه معقم قوي للمياه.
6- تحقيق كفاءة عالية في المعالجة حيث تزيل عددا كبيرا جدا من الملوثات.

5-5: أسس تصميم مفاعل التخثير الكهربائي:

إن تعقيد التفاعلات الجارية أثناء تطبيق طريقة التخثير الكهربائي، يجعلها صعبة النمذجة والضبط. كذلك يؤثر تصميم المفاعل على كفاءة المعالجة ومتغيرات التشغيل [48]. لذلك يجب

التركيز على العديد من النقاط الرئيسية والأسس التصميمية عند استخدام هذه الطريقة في المعالجة [1]. نبين فيما يلي أهم النقاط:

5-5-1: تحديد أسلوب التشغيل: يمكن استخدام أسلوبين في المعالجة بطريقة التخثير الكهربائي هما [49, 1]:

- الأسلوب المتقطع (Batch): يتم بهذا الأسلوب ملء خلية التخثير الكهربائي بحجم محدد من المياه المدروسة، حيث تبقى ضمن المخثر لمدة مكوث محدد، ويتم بعدها تفريغها للمعالجة اللاحقة.
- الأسلوب نصف المستمر (Semi Continuous): يتم بهذا الأسلوب تمرير المياه باستمرار للمعالجة عبر مفاعل التخثير الكهربائي وفقا لمعدل تدفق محدد.

5-5-2: تصنيف المفاعلات الكهركيميائية: يوجد نماذج مختلفة لوحدات المعالجة بالتخثير الكهربائي المخبرية والرائدة، حيث تتراوح من مفاعلات بسيطة إلى مفاعلات متطورة جداً.

إن التصميم الأكثر انتشارا هو المفاعل الحاوي على إلكترودات معدنية بشكل صفائح. حيث يؤثر الشكل الهندسي للمفاعل على: مسار الفقاعات الغازية وكفاءة التطويف وتشكل الندف وأسلوب تدفق السائل[50].

تصنف معظم المفاعلات الكهروكيميائية في ثلاثة أنظمة، وفقا لقطبية الإلكترودات [47]:

1- النظام أحادي القطبية: توضع الالكترودات بشكل أزواج في خلية التخثير الكهربائي وتوصل على التوازي بمصدر التيار الكهربائي.
2- النظام ثنائي القطبية: توضع الالكترودات بشكل متسلسل ضمن خلية التخثير الكهربائي، وبحيث يتم وصل الالكترودين الطرفيين فقط بمصدر التيار الكهربائي، وبالتالي تكون لباقي الالكترودات جهتين مشحونتين [51]:

الجهة المقابلة للمصعد تكون شحنتها سالبة وبالتالي فهي تعمل كمهبط، أما الجهة المقابلة للمهبط فتكون شحنتها موجبة وبالتالي فهي تعمل كمصعد.

لقد تبين من خلال الأبحاث التي أجريت أن الالكترودات ثنائية القطب أفضل مقارنة مع الالكترودات أحادية القطب، وذلك لأن عملية توصيل الالكترودات ثنائية القطب أسهل حيث يتم توصيل الالكترودين الطرفيين (المغذيين بالتيار) فقط، كما أن المساحة المصعدية تكون

اكبر، وبالتالي نحصل على تركيز أعلى لشوارد المعدن الفعالة المنحلة، وهذا يؤدي لتحقيق كفاءة أعلى في المعالجة وفقا لتركيز الملوثات [44].

3- النظام متعدد الإلكترودات: تم مؤخرا ابتكار وتجريب نظام جديد في احد الأبحاث [47]. فقد اقترح استخدام نظام متعدد الالكترودات، وهو يحتوي على مجموعة من الالكترودات (المنحلة العاملة) تعمل كمهابط بشكل متسلسل، ويتم توصيلها إلى الإلكترود المعاكس (المصعد). كذلك يمكن استخدام عددٍ من المصاعد والكترودها المعاكس (مهبط).

إن ميزة هذه طريقة انه يمكن التحكم بالتيار الكهربائي المطبق على كل الكترود من الالكترودات المتعددة بشكل مستقل، وذلك لإنجاز التفاعل المهبطي أو المصعدي اللازم دون التعرض للسلبيات الناجمة عن النواقل الالكتروليتية الضعيفة. كما اقترح أيضاً وضع المصعد مركزاً لعدة مهابط متعددة.

يمكن أيضا التمييز بين نوعين من مفاعلات التخثير الكهربائي. وذلك وفقا لتدفق المياه الداخلة للمعالجة، وهذان النوعان هما:

1- المفاعل ذو الجريان الأفقي (horizontal flow).

2- المفاعل ذو الجريان الصاعد (up flow).

ولقد تبين نتيجة الأبحاث أن استخدام المفاعل ذي الجريان الصاعد يحقق كفاءة أفضل في المعالجة مقارنة مع تلك التي يحققها المفاعل ذو الجريان الأفقي [44].

5-5-3: الالكترودات المستخدمة: تؤثر مادة الالكترود المستخدم بشكل واضح على كفاءة المعالجة بالتخثير الكهربائي [1]. من أكثر أنواع الالكترودات انتشاراً صفائح الألمنيوم والحديد [42]. كما تؤثر مساحة الالكترودات وسماكتها ونوعية سطحها والتباعد فيما بينها على كفاءة المعالجة. لقد استخدمت أنماط أخرى متنوعة من الالكترودات. مثل الأسرة المحشوة بمعدن منحل والالكترودات الشبكية [47].

5-5-4: خمولية الالكترودات: تعتبر مسألة خمولية الالكترودات الناتجة عن ترسب الرواسب إحدى أهم القضايا التشغيلية المتعلقة باستخدام طريقة التخثير الكهربائي في المعالجة، فهي تشكل خطراً على طول مدة استخدام الالكترودات في المعالجة [1].

مثلاً: عند استخدام الكترودات الألمنيوم لمدة طويلة في المعالجة، تتشكل على سطح المصعد طبقة رمادية قاسية نتيجة تشكل أكسيد الألمنيوم Al_2O_3 وهي تعيق انحلال المصعد.

كما تتشكل على سطح المهبط طبقة من راسب ابيض كربونات الكالسيوم $CaCO_3$، وقد تحتوي هيدروكسيد الألمنيوم $Al(OH)_3$. تسبب هذه الرواسب زيادة المقاومة الفعالة للخلية (زيادة فرق الكمون) وبالتالي زيادة استهلاك الطاقة عند تيار ثابت [3].

هناك عدة طرائق لمنع أو التحكم بخمولية الالكترودات، ومن هذه الطرائق [3,1]:

1- العكس الدوري لقطبية الالكترودات.
2- التنظيف الميكانيكي للالكترودات.
3- التنظيف الهيدروديناميكي للالكترودات.
4- استخدام تيار كهربائي متناوب في المعالجة.
5- توليد عوامل مانعة – صادة – لتشكل الرواسب على الالكترودات.

إن الطريقة الأكثر كفاءة لصيانة الالكترودات هي التنظيف الدوري الميكانيكي للالكترودات. وهي مسألة هامة عند استخدام محطات المعالجة الرائدة ذات الأسلوب المستمر [1].

5-5-5: كثافة التيار الكهربائي المطبقة: إن كثافة التيار الكهربائي المطبقة هي احد المعايير الهامة والمؤثرة على كفاءة التخثير الكهربائي، وهي عبارة عن شدة التيار الكهربائي المارة عبر الالكترود مقسومة على المساحة الفعالة للالكترود [1]. ويتم التحكم بهذا المعيار بسهولة بواسطة تغيير شدة التيار الكهربائي المطبقة. تحدد كثافة التيار الكهربائي المطبقة كلاً من: نسبة جرعة المعدن المنحل كهركيميائياً، وكثافة فقاعات الغاز المتشكلة. يمكن اختيار قيم مختلفة لكثافة التيار الكهربائي، وذلك وفقاً لحالات المعالجة المطلوبة. فمثلاً يتم اختيار قيم عالية لكثافة التيار الكهربائي من اجل عمليات الفصل التي تحوي وحدات تعويم أو خزانات ترسيب كبيرة، بينما يفضل استخدام قيم منخفضة لكثافة التيار الكهربائي في مفاعلات التخثير الكهربائي المستخدمة مع المرشحات الرملية والفحمية. كذلك من الأمور الهامة المؤثرة على كفاءة المعالجة بهذه الطريقة مواصفات المياه الخام المستخدمة ومن أهمها قيمة الـ pH والناقلية الكهربائية [52, 1].

5-6: تطبيقات طريقة التخثير الكهربائي:

استخدمت طريقة التخثير الكهربائي في معالجة أنواع مختلفة من المياه حيث استخدمت في معالجة المياه الطبيعية لأغراض الشرب، كذلك لمعالجة المياه الصناعية ومياه الصرف [44]. وسنستعرض فيما يلي بعض الأمثلة عن المجالات التي استخدمت فيها هذه الطريقة وحققت كفاءة عالية في المعالجة:

- قام مجموعة من الباحثين بإجراء دراسة لبحث تأثير كلٍ من زمن التحليل الكهربائي وزمن تشكيل الندف على فاعلية إزالة عكارة مياه شبكة الإمداد بعد تعكيرها لدرجات محددة في المخبر. حيث أجريت مجموعة كبيرة من التجارب والقياسات باستخدام أسلوب المتقطع لكل من المياه ذات العكارة العالية والمنخفضة. وتبين من النتائج أن زمن التحليل الكهربائي هو عامل أساسي لإزالة العكارة ولكنه لا يؤثر على فاعلية الإزالة بعد زمن تحلل كهربائي محدد. أما عملية تشكيل الندف فكانت عملية أساسية للحصول على فاعلية عالية لإزالة العكارة. إذاً يفضل أن يتبع التحليل الكهربائي عملية تشكيل الندف للحصول على فعالية عالية لإزالة العكارة [53].
- عند إجراء مقارنة لكفاءة محطة معالجة مدمجة تتألف من: مخثر كهربائي – حوض تشكيل الندف – حوض ترسيب – مرشح، مع كفاءة محطة معالجة تقليدية تتألف من: حوض ترسيب – مرشح رملي سريع، مع إضافة جرعات من الشبة (كبريتات الألمنيوم) والكلور في إزالة عكارة مياه النهر، حققت محطة المعالجة المدمجة نتائج ممتازة في إزالة العكارة [47].
- كذلك أجريت دراسة لبحث إمكانية إزالة المواد الغروية من المياه الجوفية، في الإقليم الشرقي للمملكة العربية السعودية، بطريقة التخثير الكهربائي وباستخدام الكترودات من الفولاذ. وبلغت فاعلية ازالة العكارة 95% عند زمن مكوث 5 دقيقة وشدة تيار كهربائي 1 A [54].
- استخدمت طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة مياه نهر ذات عكارة مختلفة في خلية تحليل كهربائي تحوي أحد عشر صفيحة ألمنيوم أبعادها 20 X 10 cm وباستخدام تيار كهربائي مستمر. تراوح معدل استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة للمعالجة ضمن المجال 0.08–0.18 Kwh/m^3. و خضعت المياه بعد عملية التخثير الكهربائي إلى التحريك السريع لمدة دقيقة ثم للترسيب لمدة محددة. كما تبين أن الناقلية الكهربائية للمياه انخفضت بعد المعالجة. فاعلية هذه الطريقة عند الـ pH ضمن المجال: 6.5-7.5، ولكن فعاليتها كانت قليلة عند 5 $>pH>$ 9 [3-47].
- استخدمت طريقة التخثير الكهربائي من قبل شركة SEATTLE TECTONICS لمعالجة مياه العواصف المطرية الجارية على سطح الأرض، وحققت نتائج مذهلة في إزالة العكارة. كذلك بلغت نسبة إزالة الفوسفور 90%، وبلغت القيمة 90% أو أكثر في إزالة المعادن ومبيدات الحشرات الموجودة في مياه الأمطار الجارية على سطح الأرض [55].
- كما استخدمت طريقة التخثير الكهربائي لإزالة الفلور من مياه SEPTENTRIONAL SAHARA في شمال أفريقيا –جنوب الجزائر– باستخدام أسلوب التدفقات في المعالجة والكترودات ألمنيوم ثنائية القطبية ووصلت نسبة الإزالة إلى 90% [56].

- كما استخدمت طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة مياه الصرف الناتجة عن أسطول واشنطن البحري في موقع فانكوفر – لبناء السفن وإصلاحها – وتحتوي هذه المياه على: الزيوت والشحوم ووقود الديزل وكل انواع وقود السفن البحرية، والمواد الصلبة المعلقة، والمعادن (حديد وزنك) الناتجتين عن صدأ القوارب الفولاذية و قعر السفن وغيرها. وقد حققت المياه المعالجة الشروط المطلوبة لكل من: هيدروكربونات البترول، الأملاح المنحلة الصلبة TDS، والمعادن الثقيلة. كلفة إنشاء وتشغيل محطة المعالجة بهذه الطريقة، اقل من كلفة تطبيق التقنيات الأخرى المعتمدة في معالجة هذا النوع من المياه [57].
- استخدمت طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة مياه الفضلات الناجمة عن حقل النفط. حيث جمعت المياه الملوثة في بركة تخزين في موقع لويسيانا، واحتوت تلك البركة على $27\ m^3$ من المياه الملوثة بشكل رئيس بالباريوم والمواد الصلبة المعلقة بتراكيز عالية. وحققت المعالجة بهذه الطريقة كل معايير التصريف المطلوبة، معدل إزالة المواد الصلبة المعلقة 84.2% ومعدل إزالة الباريوم 56.5% [58].
- حققت معالجة مياه تركيبية بالتخثير الكهربائي مع تيار كهربائي متناوب والكترودات من الألمنيوم، نسبة تخفيض عالية لتراكيز المعادن المنحلة فمثلا نسبة إزالة 60% للرصاص، 90% للنحاس، و87% للكروم و91% للفوسفات [52].
- استخدمت طريقة التخثير الكهربائي لمعالجة التدفقات الحاوية على مركبات Cu-EDTA باستخدام الكترودات من الحديد، وتحققت كفاءة عالية في إزالة الشوارد النحاسية. وهذه الطريقة متفوقة بالمقارنة مع الطريقة الكيميائية في المعالجة [59].
- كما حققت هذه الطريقة كفاءة عالية في إزالة النترات بلغت حوالي القيمة 70% عند معالجة مياه جوفية وسطحية، باستخدام مفاعل متعدد الالكترودات [47].
- استخدمت المعالجة بالطريقة الكهركيميائية لتطهير (إزالة الجراثيم) مياه أحواض السباحة باستخدام الكترودات اسطوانية الشكل مصنوعة من خلائط النحاس والفضة. وتحققت نتائج فعالة جداً [59].
- كذلك حققت المعالجة بطريقة التخثير الكهربائي كفاءة متميزة في إزالة بكتريا E. coli ووصلت لتراكيز اقل حتى من الحدود المسموح بها [44].
- استخدمت هذه الطريقة لمعالجة مياه الصرف العالية الملوحة، وتبين أنها فعالة جداً، حيث تزايدت نسبة إزالة الـ COD بشكل ثابت مع تزايد كثافة التيار الكهربائي المطبقة. وبلغت نسبة الإزالة قيمتها العظمى 72% عند كثافة تيار كهربائي $9\ mA/cm^2$ (شدة التيار=3A) [39].

5-7: العلاقات الحسابية المستخدمة في التخثير الكهربائي [47, 3]:

5-7-1: تحديد تركيز المعدن المنحل:

تم تحديد تركيز المعدن المنحل انطلاقا من قانون فاراداي.

- إن علاقة حساب كمية المعدن المنحل بالنسبة لالكترودات الألمنيوم هي:

$$C = 0.336 \times I \times (P-1) \times T / V \qquad (5\text{-}1)$$

- و بالنسبة لالكترودات الحديد هي:

$$C = 1.040 \times I \times (P-1) \times T / V \qquad (5\text{-}2)$$

C : تركيز المعدن المنحل (mg / L).

I : شدة التيار الكهربائي المطبقة (A).

P : عدد الصفائح المعدنية المستخدمة.

T : زمن المكوث ضمن المفاعل (h).

V : حجم المياه المعالجة (m^3).

5-7-2: تحيد فاعلية الإزالة للملوث المدروس [47, 2]:

$$\varnothing = \frac{(T_o - T_F)}{T_o} \times 100 \qquad (5\text{-}3)$$

Ø : فاعلية الإزالة وتؤخذ كنسبة مئوية.

T_o : التركيز الأولي للملوث المدروس.

T_F : التركيز بعد المعالجة للملوث المدروس.

5-7-3: تحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة:

$$E = (I \times U \times T) / V \qquad (5\text{-}4)$$

E : كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة، وتحسب لمعالجة $1m^3$ من المياه خلال ساعة ($w.h/m^3.H_2O$).

I : شدة التيار الكهربائي المطبقة (A).

U : فرق الكمون (V).

T : زمن المكوث ضمن المفاعل (h).

V : حجم المياه المعالجة (m^3).

الفصل السادس Chapter Six

المواد والأجهزة المستخدمة

Material and Apparatus used

6-1: المواد المستخدمة:

6-1-1: حمض الكبريت التجاري: تركيز 98% صنع الشركة العامة للأسمدة بحمص، لضبط الـ pH.

6-1-2: فلاتر البولي بروبلن: لحجز الشوائب حتى 5 ميكرومتر، صناعة تايوانية.

6-1-3: فلاتر الفحم الفعال: لإزالة الكلور الفعال من مياه التغذية، صناعة تايوانية.

6-1-4: الغضار clay: $(Al_2O_3.Fe_2O_3.3MgO).4SiO_2.nH_2O$ استخدم كمادة مسببة للعكارة، استخدمنا في الدراسة الغضار السوري المنتج في حلب بشكل بودرة ناعمة جداً ذات قطر ضمن المجال 106 - 125 µm.

6-1-5: البيرم Birm: حبيبات سوداء تعمل على إزالة شوارد الحديد من مياه التغذية، صناعة أمريكية. ومن ميزاته:

- في الشروط الصحيحة لا يحتاج لمواد كيميائية لصيانته.
- فاعلية عالية جداً في إزالة شوارد الحديد.
- كلفة تشغيله مهملة، ويحتاج فقط لغسيل عكسي.
- مادة متينة مع عمر طويل ويعمل في مجال عريض لدرجات الحرارة.

خواصه الفيزيائي:

- لونه أسود.
- كثافته 640 –720 كغ/م^3.
- حجم الشبكة: 10*40.
- وزنه النوعي 2000 كغ/م^3.
- الحجم الفعال 0.48 مم.
- معامل الاتساق 2.7.

شروط التشغيل:

- يجب أن تكون القلوية اكبر بمرتين من تركيز الكلوريد والكبريتات.
- درجة حرارة الماء العظمى 38 م^o.

- درجة الحموضة ضمن المجال 6.8-9.
- كمية الأوكسجين المنحل يجب أن تكون مساوية 15% من محتوى الحديد.
- عمق السرير 75-90 سم.
- منطقة فارغة فوق البيرم 50% من عمق السرير حد ادنى.
- معدل الغسيل العكسي 473 م^3/س/م^2.
- تمدد السرير بالغسيل العكسي 20-40% من عمق السرير حد ادنى.
- معدل التدفق في الخدمة 165-237 م^3/س/م^2.

حدود الغسيل والتغذية:

- تركيز الكلورين الحر أقل من 0.5 ملغ/ليتر.
- يجب إزالة كبريت الهيدروجين قبل أن يلامس البيرم.
- لا وجود للزيت.
- لا وجود لبولي الفوسفات.

6-2: الأجهزة المستخدمة:

6-2-1: وحدة التخثير الكهربائي: موضحة في الشكل (6-1) وتتألف الوحدة من وعاء زجاجي متوازي المستطيلات يتسع لحجم ليترين من المياه المراد معالجتها، تحتوي على صفائح من الحديد أو الفولاذ ترتبط بقطبين سالب وموجب من مزود الطاقة الكهربائية بالتيار المستمر.



الشكل (6-1): وحدة التخثير الكهربائي.

استخدم في وحدة التخثير الكهربائي مزود للطاقة الكهربائية بالتيار المستمر. بحيث يمكن التحكم بفرق الكمون الكهربائي وشدة التيار. وكذلك مفاعل تتم فيه عملية التخثير الكهربائي يحتوي على قطبين معدنيين من الحديد أو الفولاذ.

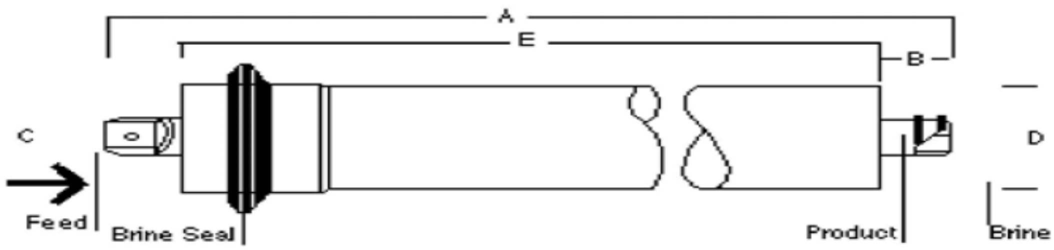
طول مفاعل التخثير من الداخل 10 سم وعرضه 10 سم وارتفاعه 25 سم، يتسع لحجم ليترين من المياه الخام، ارتفاع الماء في المفاعل 20 سم. استخدمت في مفاعل التخثير صفيحتان معدنيتان، أبعاد الصفيحة المستخدمة في المفاعل هي: طول 23.5 سم وعرض 9 سم وسماكة 3 ملم، يغمر من الصفيحة 20 سم في الماء والمسافة بين الصفيحتين 3 سم.

يتم عند تمرير التيار الكهربائي عبر الالكترود المعدني تأكسد المعدن محرراً الشاردة الموجبة M^{n+} عند المصعد، وبشكل متواقت يتم إرجاع الماء إلى غاز الهيدروجين وشاردة الهيدروكسيل OH^- عند المهبط.

6-2-2: وحدة تحلية المياه بالتناضح العكسي:

استخدمت وحدتا تناضح عكسي مخبريتان في التجارب إنتاجية الواحدة 190 ليتر/ اليوم (7.9 l/hr) كحد أقصى. الوحدة صناعة تايوانية و الغشاء من إنتاج شركة فلمتك الأمريكية. ويوضح الشكل (6-3) أبعاد غشاء التناضح العكسي المستخدم في الوحدة. تتضمن كل وحدة المكونات الأساسية التالية:

1- غشاء تحلية نوع فلمتك TW30-1812-50 إنتاجية 7.9 l/hr.
2- مرشح من البولي بروبلن بمقاس خمسة ميكرون لإزالة المواد الصلبة.
3- مرشح لإزالة اللون والرائحة والطعم من حبيبات الفحم الغعال.
4- مرشح إضافي مصنع من قالب الفحم الغعال مقاس خمسة ميكرون.
5- خزان تجميع المياه المنتجة سعة 14 ليتر.
6- حنفية من الكروم.
7- مرشح من حبيبات الفحم الفعال لإزالة اللون والرائحة والطعم على خط المياه المنتجة.
8- مصباح أشعة فوق بنفسجية لتعقيم المياه المنتجة.
9- مقياس لدرجة الملوحة Total Dissolved solid TDS للمياه المنتجة .



Dimensions – Inches (mm)

A	B	C	D	E
11.74 (298)	0.87 (22)	0.68 (17)	1.75 (44.5)	10.0 (254)

الشكل رقم (6-3): أبعاد غشاء التناضح العكسي المستخدم في التجارب.

ويوضح الجدول التالي أهم خصائص غشاء التناضح العكسي المستخدم في التجارب.

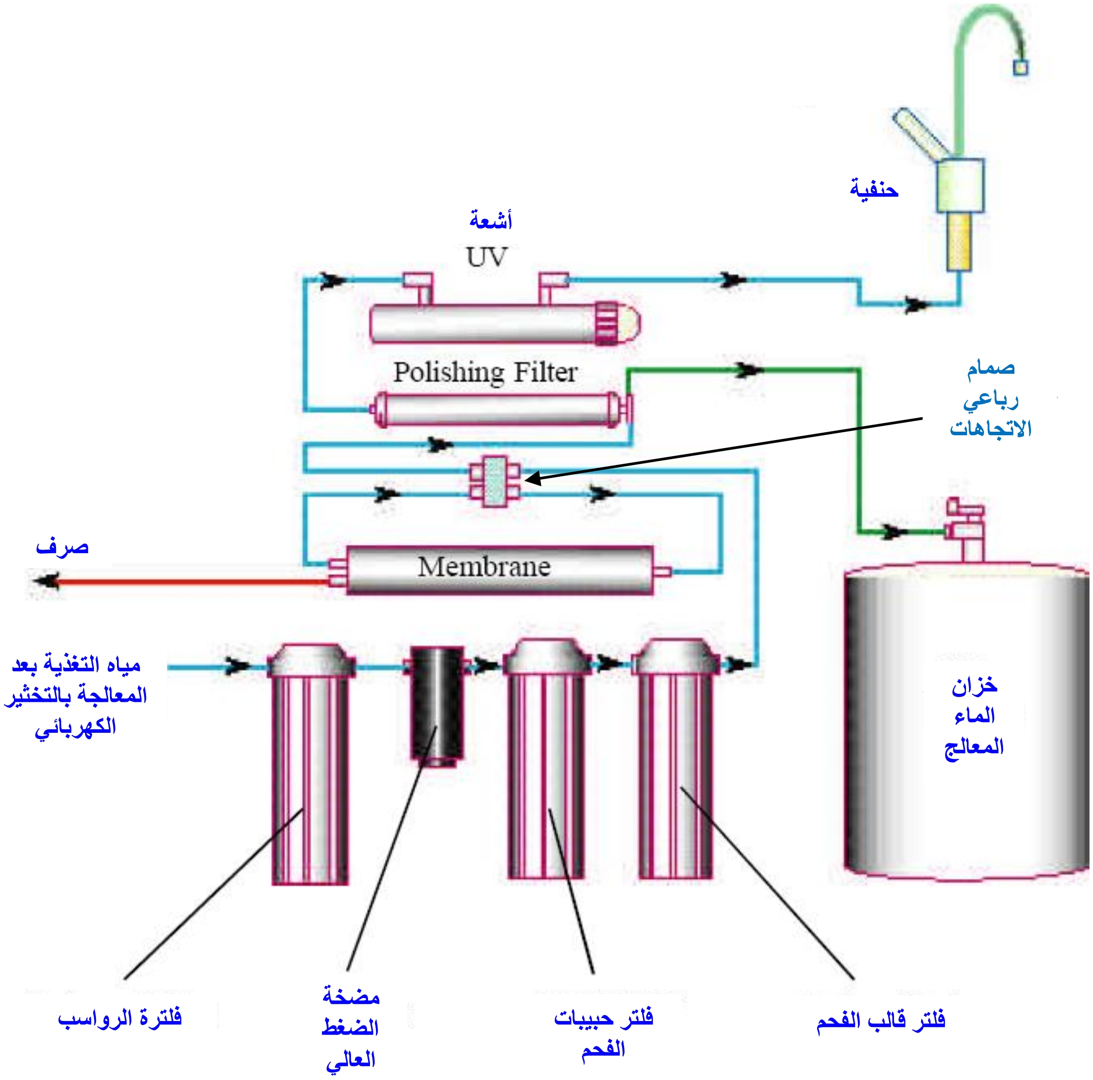
الجدول رقم (6−1): خصائص غشاء التحلية المستخدم في وحدة التناضح العكسي.

الخاصة	القيمة
نو ع الغشاء	بولي أميد Polyamide Thin-Film Composite
درجة حرارة التشغيل العظمى	45 °م
ضغط التشغيل الأعظمي	10 بار
معدل تدفق التغذية الأعظمي	7.6 ل/د
مجال الـ pH ، تشغيل مستمر	2−11
دليل كثافة الطمي الأعظمي SDI	5 %/دقيقة
تحمل الكلور الحر	< 0.1 ppm
تحمل شوارد الحديد	< 0.1 ppm

فيما يلي صورة لوحدة التناضح العكسي المستخدمة في التجارب الشكل (6−4) والشكل (6−5).

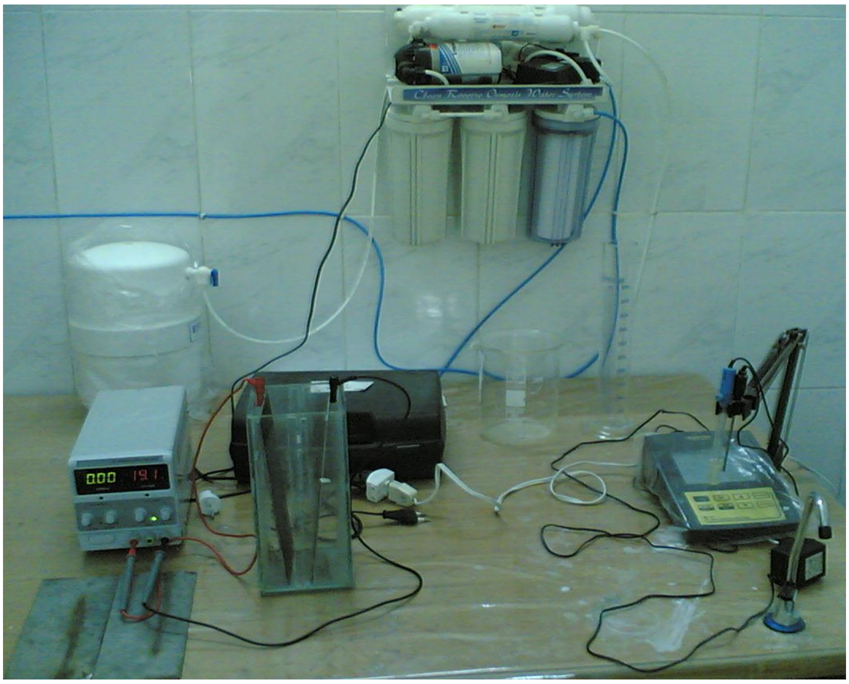


الشكل رقم (6−4): صورة وحدة التناضح العكسي المستخدمة في التجارب.



الشكل رقم (6-5): مخطط تدفقي لوحدة تحلية المياه بالتناضح العكسي المستخدمة في التجارب.

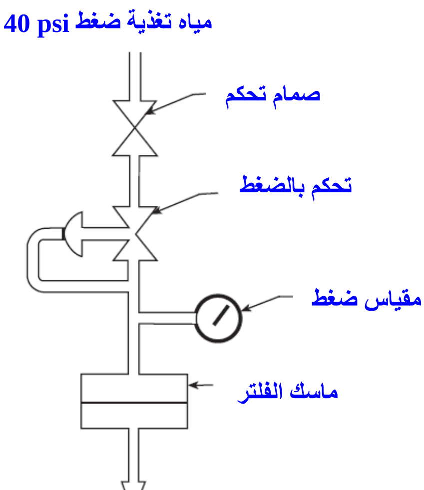
يوضح المخطط التدفقي في الشكل (6-5) كيفية عمل وحدة التناضح العكسي. حيث تدخل مياه التغذية إلى مرحلة المعالجة الأولية والتي تتضمن الفترة الميكرونية عبر فلتر البولي بروبلن والفلتر الكربوني ثم تضخ المياه عبر غشاء التناضح العكسي، حيث يخرج تيارين الأول هو تيار الصرف المركز بالأملاح والتيار الثاني هو المياه المنتجة القليلة الأملاح حيث تذهب عبر محبس رباعي الاتجاه مباشرة إلى خزان تجميع المياه المنتجة. يعمل المحبس رباعي الاتجاهات على تنظيم اتجاه المياه المنتجة فعند فتح الحنفية لاستخدام المياه المنتجة يفتح الصمام لتنتقل المياه من خزان التجميع عبر فلتر كربوني إضافي لإزالة الطعم والرائحة ثم لتعبر إلى لمبة الأشعة فوق البنفسجية لعتقيم المياه المنتجة وأخيراً إلى الحنفية للاستخدامات المختلفة مثل الشرب وغيرها.



الشكل رقم (6-6): وحدة التخثير الكهربائي مع وحدة التناضح العكسي المستخدمة في التجارب

6-2-3: جهاز قياس دليل كثافة الطمي SDI:

يعتبر قياس دليل كثافة الطمي SDI مؤشراً لتحديد التوسخ الكامن في المياه المعالجة المستخدمة في تغذية وحدة التناضح العكسي. يتم قياس الـ SDI من خلال قياس حجم المياه المعالجة التي تعبر خلال ورقة ترشيح بمسام 0.45 ميكرون تحت ضغط 2.75 بار خلال فترة 15 دقيقة.





الشكل (6-7) جهاز قياس دليل كثافة الطمي المستخدم في التجارب.

6-2-4: مقاييس العكارة والناقلية الكهربائية ودرجة الحموضة :

استخدمت في التجارب العملية أجهزة القياس التالية: مقياس العكارة ومقياس الناقلية الكهربائية ومقياس درجة الحموضة.

- مقياس العكارة هو من النوع Turb 550 صنع شركة WTW الألمانية.
- أما مقياس الناقلية الكهربائية فهو من النوع Cond 720 صنع شركة WTW.
- ومقياس درجة الحموضة من النوع pH 720 صنع شركة WTW.

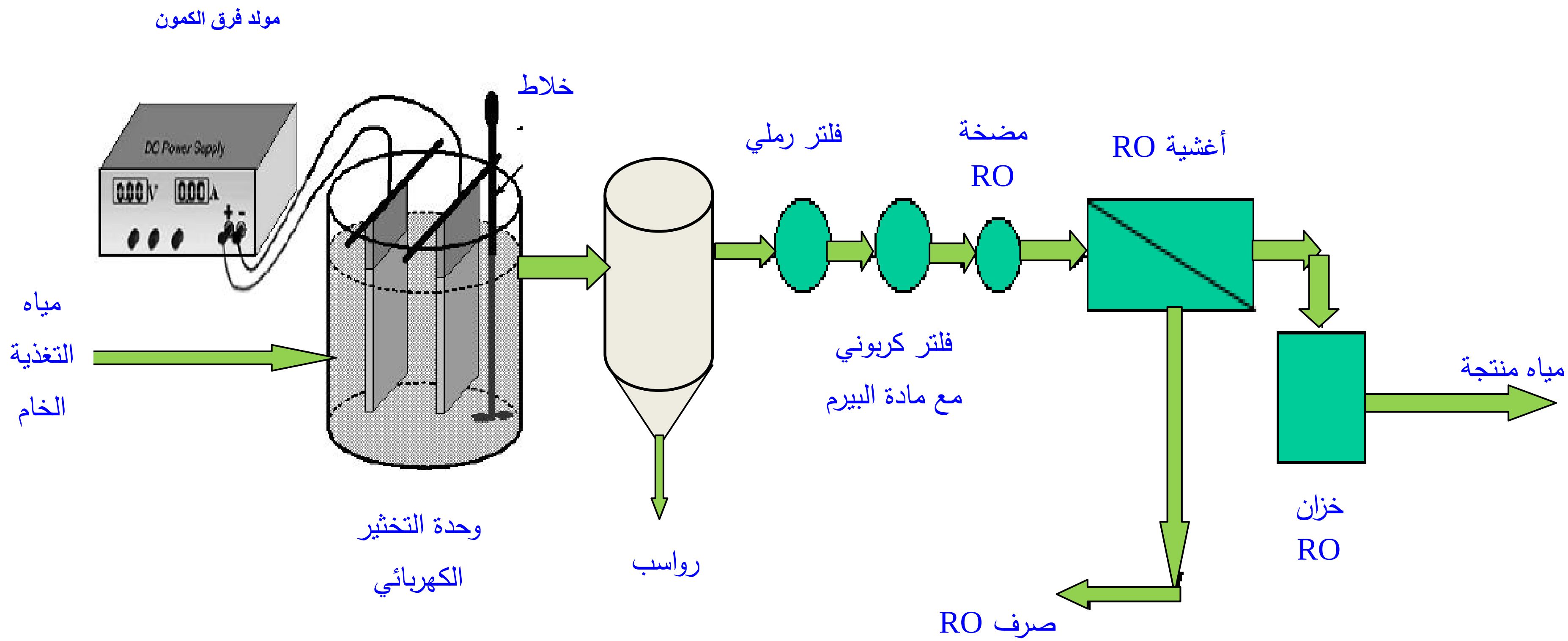


مقياس درجة الحموضة مقياس الناقلية الكهربائية مقياس العكارة

الشكل (6-8) أجهزة القياس المستخدمة في التجارب.

6-2-5: جهاز سبيكتروفوتومتر لقياس تركيز شوارد الحديد و جهاز قياس قساوة المياه:

- جهاز سبيكتروفوتومتر لقياس تركيز الشوارد المعدنية الموجودة في الماء مثل شوارد الحديد وغيرها. وهو من نوع HITACHI موديل U-2800A صناعة يابانية.
- جهاز قياس قساوة المياه. لقياس قساوة المياه الخام نوعه TITRONIC Basic ماركة SCHOTT ألماني



الشكل (6–10) المخطط التدفقي لطريقة المعالجة الجديدة لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

6-3: طريقة العمل:

6-3-1: المعالجة بالتخثير الكهربائي لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

6-3-1-1: وصف تقنية التخثير الكهربائي:

تتألف وحدة التخثير الكهربائي من مزود بالطاقة الكهربائية بالتيار المستمر بحيث يمكن التحكم بفرق الكمون الكهربائي وشدة التيار، ومن مفاعل تتم فيه عملية التخثير الكهربائي يحتوي على قطبين معدنيين من الحديد أو الفولاذ. يتم في المفاعل تآكل أحد القطبين (المصعد) وينطلق على القطب الثاني (المهبط) غاز الهيدروجين[51,1]. يزيد المجال الكهربائي من قابلية المواد المعلقة المشحونة للانجذاب إلى الجزيئات الأخرى مقارنة بالجرعات الكيميائية والتحريك. لذلك تحسن تقنية التخثير الكهربائي عملية التخثير الكيميائي.

ينحل معدن الحديد عند المصعد ليعطي بشكل مستمر شوارد الحديد المنحلة القريبة من سطح المصعد. يعمل هيدروكسيد الحديد المتشكل على الجذب الكهربائي للغرويات الموجودة بقربه (وهي غالباً ذات شحنة سالبة)، والتي تنجذب بفعل المجال الكهربائي نحو القطب الموجب. يشكل مركب هيدروكسيد الحديد ندفاً تتميز بمقدرة عالية على امتزاز المواد المعلقة والعكارة في المياه، حيث يقوم بتعديل شحنتها وتخليصها من حالة الاستقرار، وبالتالي تسهل إزالتها بالترشيح أو الترسيب. استخدمت في هذه الدراسة تقنية التخثير الكهربائي مع نوعين من الأقطاب، هما صفائح من الحديد وصفائح من الفولاذ عيار Stainless Steel 304 وذلك لتحديد كفاءة تقنية التخثير الكهربائي في إزالة العكارة من المياه الخام المدروسة.

6-3-1-2: المياه الخام المستخدمة في المعالجة بالتخثير الكهربائي:

استخدمت في تجارب المعالجة بالتخثير الكهربائي مياه آبار (من آبار شركة زيزون لتوليد الطاقة الكهربائية) بعد تعكيرها للقيمة المطلوبة باستخدام محلول معكر محضر من البيلون الحلبي (الغضار)، حيث مزجت كمية من الغضار بالماء المقطر. وبعد ذلك تمت تصفيته وترسيبه لمدة ساعة، ثم أخذ الرائق المعكر بحيث تكون عكارته ثابتة. ثم أضيف من هذا المحلول المعكر كميات محددة إلى مياه الآبار المراد دراستها.

أجريت الدراسة على أربعة عينات من المياه الخام بدرجات عكارة مختلفة ومتدرجة ضمن المجال (NTU 140–100 – 60– 20).

ومواصفات المياه الخام المستخدمة في التجارب موضحة في الجدول (6-2) التالي:

الجدول رقم (6-2): خصائص المياه الخام المستخدمة في المعالجة بالتخثير الكهربائي.

الخاصة	الواحدة	العينة 1	العينة 2	العينة 3	العينة 4
درجة الحموضة pH	-	7	7	7	7
المواد الصلبة الكلية المنحلة TDS	mg/l	910	950	990	1030
العكارة	NTU	20	60	100	140

استخدم في العمل تيار كهربائي مستمر شدته متغيرة وفق القيم (1.0- 1.5- 2.0- 2.5 - 3.0 - 3.5 - 4.0 أمبير). ودراسة تأثير زمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير الكهربائي وفق القيم (1- 2 - 3 - 4 - 5 دقيقة). ثبتت قيمة درجة الحموضة للمياه الخام المدروسة باستخدام حمض الكبريت التجاري عند القيمة pH= 7.0. كما ثبت زمن الترسيب في وعاء الترسيب للمياه بعد المعالجة بزمن مقداره 60 دقيقة ثم بعد الترسيب والترشيح قيست العكارة لتحديد نسبة إزالة العكارة العظمى.

قيست المتغيرات التالية قبل المعالجة وبعدها بالتخثير الكهربائي وهي pH، TDS والعكارة.

تمت نفس خطوات الدراسة المذكورة أعلاه باستخدام نوعين من الأقطاب المعدنية في مفاعل التخثير الكهربائي وهما الحديد والفولاذ عيار 304.

استخدمت في هذه الدراسة طريقة العمل المتقطع Batch للحصول على القيم المثلى للمتغيرات المدروسة، والحصول على أفضل قيم لإزالة العكارة عند القيمة المثلى لشدة التيار الكهربائي والقيمة المثلى لزمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير الكهربائي.

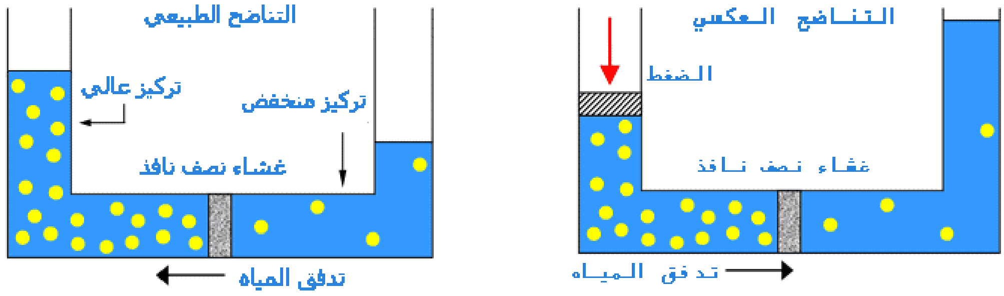
كررت التجربة أكثر من مرة من أجل كل متغير تجريبي وأخذ المتوسط.

6-3-2: تأثير المعالجة الأولية لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي على كفاءتها:

6-3-2-1: وصف تقنية التناضح العكسي:

تعتبر عملية التناضح العكسي حديثة بالمقارنة مع عمليتي التقطير والديلزة حيث تم تقديمها تجارياً خلال السبعينات من القرن الماضي، علماً بأن العالم العربي أبو الريحان البيروني (973-1048م) كان أول من فكر في استخدام الأغشية شبه النفوذة للحصول على مياه عذبة من الماء المالح[4].

تعرف عملية التناضح العكسي على أنها عملية فصل الماء عن محلول ملحي مضغوط من خلال غشاء. ولا يحتاج الأمر إلى تسخين أو تغيير في الشكل، والطاقة المطلوبة للتحلية هي لضغط مياه التغذية. ويظهر الشكل (6-11) رسماً توضيحياً لمبدأ التناضح والتناضح العكسي.



الشكل (6−11) رسماً توضيحياً لمبدأ عملية التناضح العكسي.

6−3−2−2: المياه الخام المستخدمة في دراسة تأثير المعالجة الأولية لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي على كفاءتها:

استخدمت في هذه الدراسة مياه مجهزة بحيث تكون مجموع الأملاح المنحلة الكلية فيها 500 mg/l، وعكارتها 10 NTU ودليل كثافة الطمي SDI لها ثابت بحدود 40 %/min .

ومواصفات المياه الخام المستخدمة موضحة في الجدول (6−3) التالي:

الجدول رقم (6−3): خصائص المياه الخام المستخدمة في مرحلة دراسة كفاءة وحدة التناضح العكسي.

الخاصة	الواحدة	القيمة
درجة الحموضة pH	−	7
المواد الصلبة الكلية المنحلة TDS	mg/l	500
العكارة	NTU	10
دليل كثافة الطمي SDI	%/min	40
القساوة الكلية	mg/l	210

أجريت الدراسة باستخدام طريقتين من المعالجة الأولية لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

1− الطريقة التقليدية في المعالجة الأولية: تتضمن الترشيح عبر فلاتر من الفحم المنشط ومن البولي بروبلن بمسام 5 ميكرون.

2− الطريقة الجديدة في المعالجة الأولية: تتضمن التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب من الفولاذ عيار 304 يحتوي الخليط المعدني (Cr.Ni.Mo: 13-2-2)، شدة التيار المستخدمة في العمل 1.5 أمبير وكثافة التيار الكهربائي $8.33\ mA/cm^2$ عند فرق كمون 22.1 فولط. يتبعه الترشيح عبر فلتر رملي (لإزالة الرواسب المتشكلة في وحدة التخثير الكهربائي) ثم فلتر يحوي حبيبات من مادة البيرم (مادة تعمل كوسيط لأكسدة شوارد الحديد الثنائية إلى حديد ثلاثي التكافؤ قابل للترسيب على شكل هيدروكسيد الحديد أحمر اللون وفصله عن المياه دون أن يترك أي أثر سلبي على المياه المارة من خلاله، وذلك لإزالة شوارد الحديد المنحل التي يجب أن يكون تركيزها <

0.1ppm للدخول إلى أغشية التناضح العكسي) ثم عبر فلاتر من الفحم المنشط ومن البولي بروبلن بمسام 5 ميكرون.

استخدمت هنا طريقة العمل المستمرة continues بتدفق للمياه الخام حوالي 40 l/hr عند ضغط 8 بار وتدفق للمياه المنتجة عند بداية العمل 7.9 l/hr.

وفي كلا الطريقتين تمت التجارب في شروط العمل نفسها وثبتت درجة الحرارة الغرفة عند 25 ^{o}م وثبتت درجة الحموضة للمياه الخام المدروسة باستخدام حمض الكبريت عند القيمة pH= 7.0 ، وأخذت النتائج على مدى اثني عشر شهراً متواصلة، حيث أخذت قراءات يومية لكل متغير وفي نهاية الشهر أخذت القيمة المتوسطة الشهرية للمتغير المدروس.

قيست المتغيرات التالية في طريقتي المعالجة التقليدية والجديدة:

1- فرق الضغط على مدخل ومخرج غشاء التحلية P (بار).

2- كمية المياه المنتجة Q (l/hr).

3- الأملاح المنحلة الكلية الـ TDS للمياه المنتجة (mg/l).

4- دليل كثافة الطمي الـ SDI للمياه الخام المعالجة والمغذية للأغشية (%/ min).

استخدمت في التجارب العملية وحدتا تناضح عكسي صغيرتان، الوحدة الأولى استخدمت فيها الطريقة التقليدية في المعالجة، والوحدة الثانية استخدمت فيها الطريقة الجديدة في المعالجة لمياه التغذية بإضافة وحدة التخثير الكهربائي ثم الفلتر الرملي ثم الفلتر الحاوي مادة البيرم.

Chapter Sevene الفصل السابع

النتائج و المناقشة

Results and Discussion

7-1: التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب من الحديد:

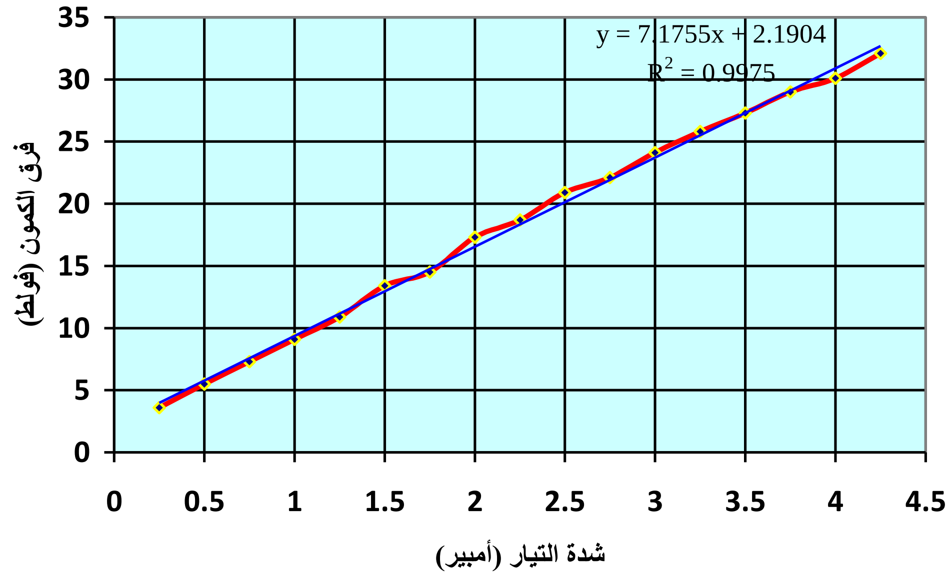
7-1-1: تأثير شدة التيار الكهربائي على نسبة إزالة العكارة:

غيرت شدة التيار الكهربائي من أجل عينات المياه المذكورة في الجدول (6-2) وفق القيم الموضحة في الجدول التالي:

الجدول رقم (7-1): قيم شدة التيار الكهربائي المستخدمة في مفاعل التخثير الكهربائي (باستخدام أقطاب حديد المسافة بين القطبين 3 سم).

شدة التيار (أمبير)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
كثافة التيار (مللي أمبير/سم^2)	2.78	5.56	8.33	11.11	13.89	16.67	19.44	22.22
فرق الكمون (فولط)	5.5	9.1	13.4	17.3	20.9	24.1	27.3	30.1

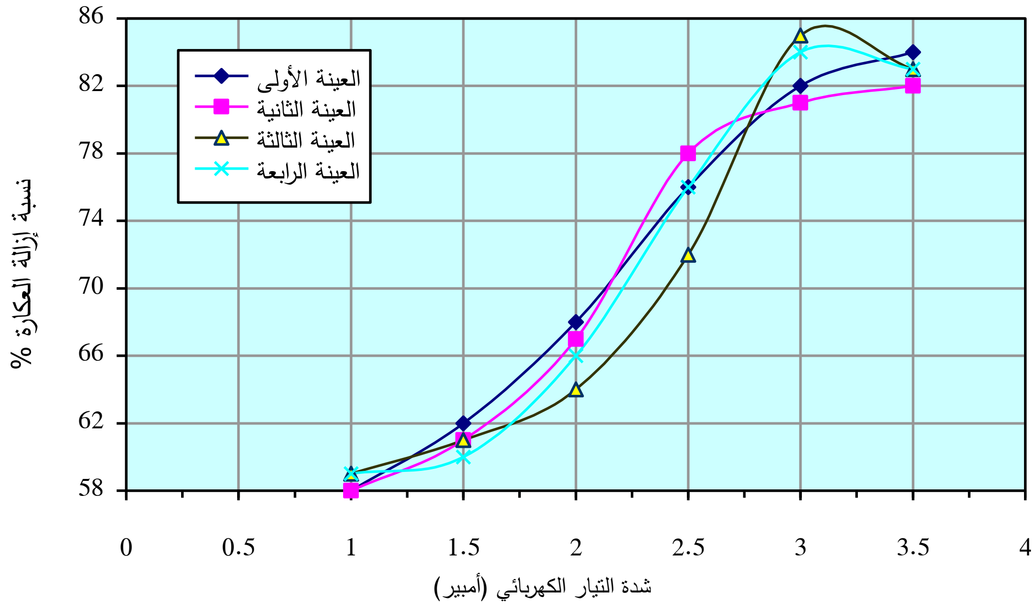
وتوضح الجداول والأشكال الآتية نتائج التجارب العملية لفاعلية التخثير الكهربائي مع أقطاب الحديد على نسبة إزالة العكارة تبعاً لشدة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي.



الشكل (7-1) العلاقة بين شدة التيار وفرق الكمون في مفاعل التخثير الكهربائي (باستخدام أقطاب حديد).

الجدول رقم (7−2): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة باستخدام أقطاب الحديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى 20 NTU		عينة ثانية 60 NTU		عينة ثالثة 100 NTU		عينة رابعة 140 NTU	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	8.5	58	25	58	41	59	58	59
1.5	7.7	62	23.4	61	39	61	55.9	60
2.0	6.5	68	19.8	67	36	64	48	66
2.5	4.8	76	13	78	28	72	34	76
3.0	3.7	82	11.3	81	15	85	23	84
3.5	3.3	84	10.9	82	17	83	24	83

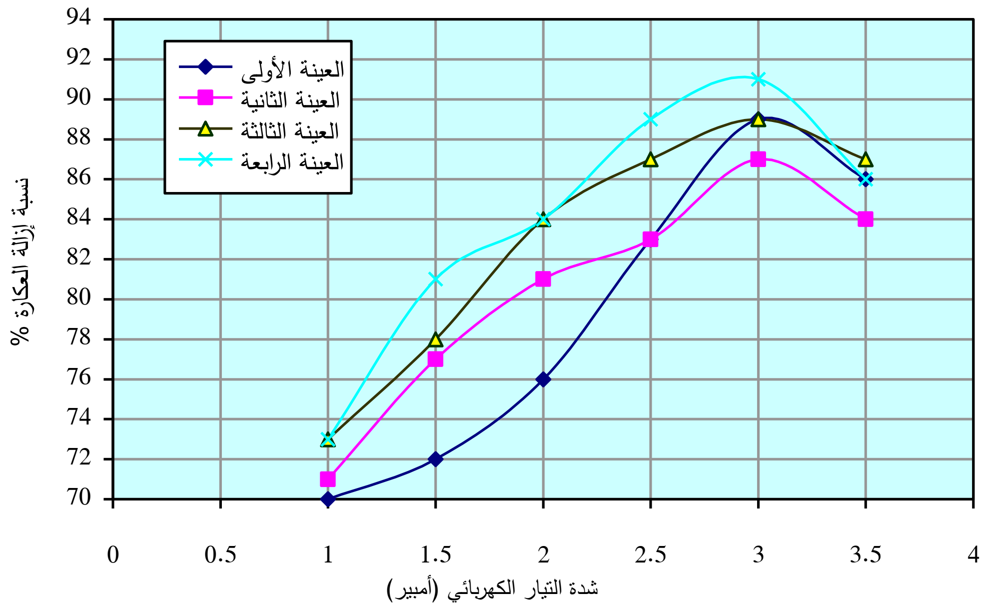


الشكل (7−2) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة دقيقة واحدة (باستخدام أقطاب حديد).

نلاحظ من الجدول (7−2) والشكل (7−2) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 81−85% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) وذلك من أجل زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة.

الجدول رقم (7-3): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتين باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	6	70	17.5	71	27	73	38	73
1.5	5.6	72	14	77	21.9	78	27.1	81
2.0	4.9	76	11.5	81	16	84	22	84
2.5	3.5	83	10	83	13	87	16	89
3.0	2.3	89	8	87	11.5	89	13	91
3.5	2.9	86	9.9	84	13	87	19	86

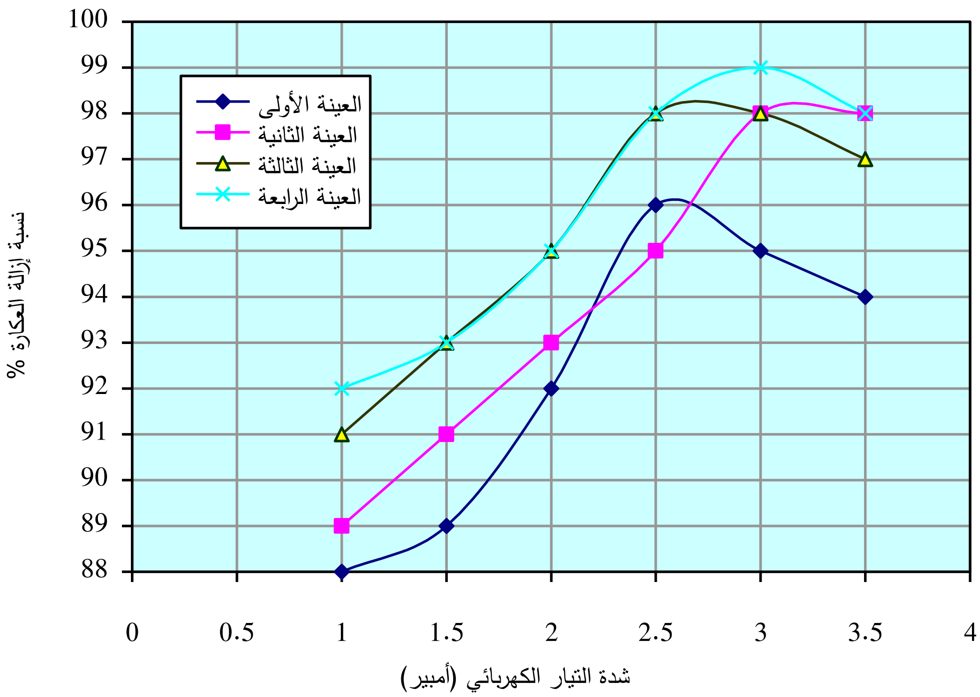


الشكل (7-3) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة دقيقتين (باستخدام أقطاب حديد).

نلاحظ من الجدول (7-3) والشكل (7-3) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 87-91% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) وذلك من أجل زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتين.

الجدول رقم (7-4): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة ثلاث دقائق باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	2.4	88	6.5	89	9	91	11	92
1.5	2.2	89	5.7	91	7.1	93	9.5	93
2.0	1.6	92	4	93	5.5	95	6.5	95
2.5	0.9	96	2.9	95	3	98	3.5	98
3.0	1	95	1	98	1.9	98	2.1	99
3.5	1.3	94	1.1	98	2.1	97	2.9	98

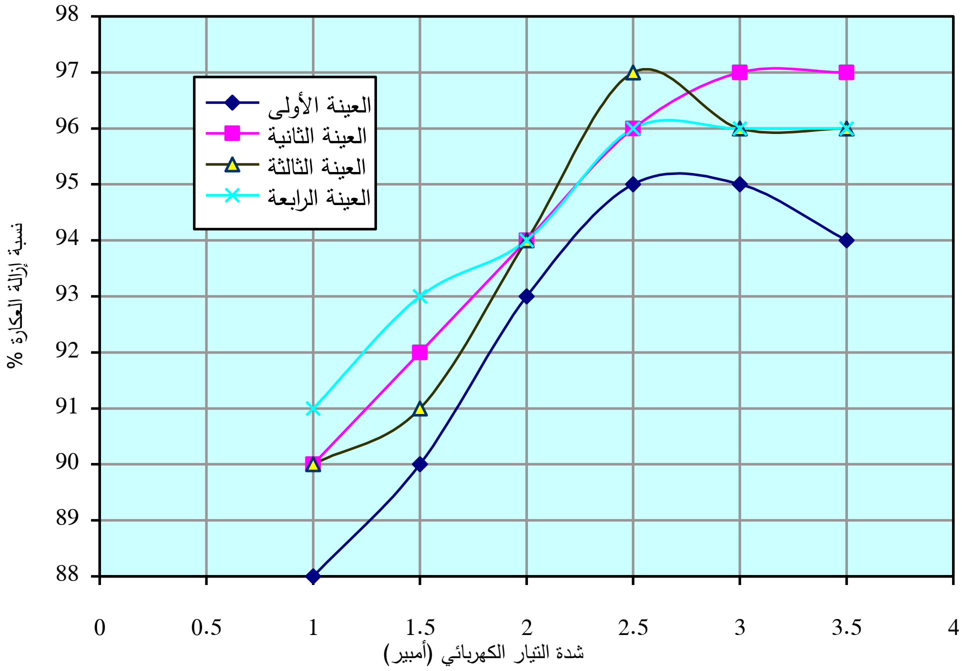


الشكل (7-4) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة ثلاث دقائق (باستخدام أقطاب حديد).

نلاحظ من الجدول (7-4) والشكل (7-4) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 95-99% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) عند زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لثلاث دقائق.

الجدول رقم (7-5): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة أربع دقائق باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	2.4	88	5.9	90	10	90	13	91
1.5	2.1	90	4.8	92	9.5	91	9.5	93
2.0	1.5	93	3.7	94	6	94	8	94
2.5	1.1	95	2.2	96	3	97	6.1	96
3.0	1	95	1.9	97	4	96	5.2	96
3.5	1.2	94	2	97	4.4	96	5.9	96

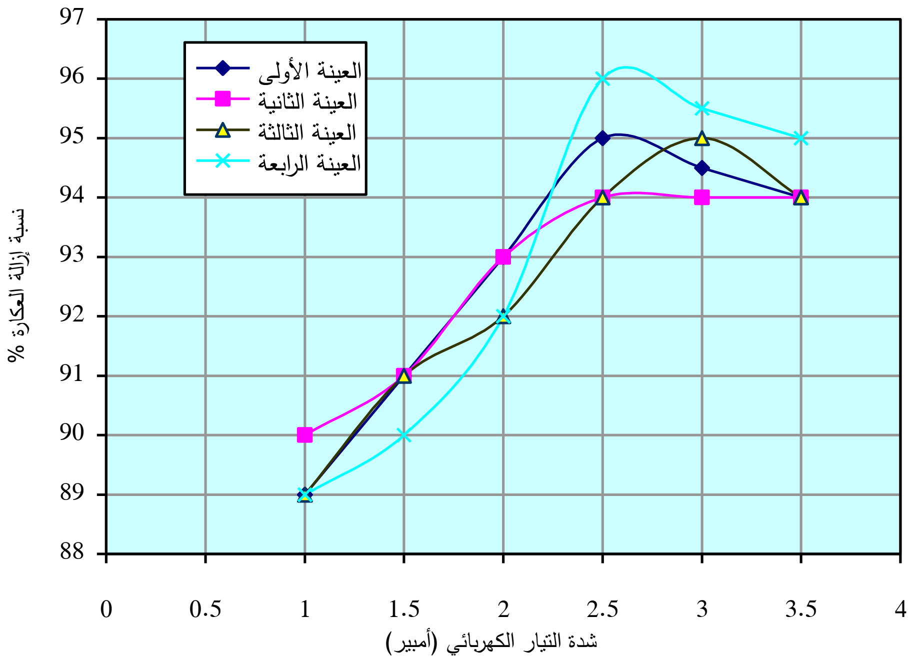


الشكل (7-5) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة أربع دقائق (باستخدام أقطاب حديد).

نلاحظ من الجدول (7-5) والشكل (7-5) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 95-97% عند شدة تيار 2.5 أمبير (كثافة التيار 13.9 مللي أمبير/سم^2) عند زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لأربع دقائق.

الجدول رقم (7-6): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة خمس دقائق باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	2.2	89	6	90	11.5	89	16	89
1.5	1.9	91	5.2	91	9	91	13.7	90
2.0	1.4	93	4.1	93	8.1	92	11	92
2.5	1	95	3.5	94	6.2	94	6.1	96
3.0	1.1	94.5	3.4	94	5	95	6.3	95.5
3.5	1.2	94	3.9	94	6.3	94	7	95



الشكل (7-6) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة خمس دقائق (باستخدام أقطاب حديد).

نلاحظ من الجدول (7-6) والشكل (7-6) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 94-96% عند شدة تيار 2.5 أمبير (كثافة التيار 13.9 مللي أمبير/سم^2) عند زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لخمس دقائق.

إذاً نلاحظ بشكل عام من النتائج التجريبية السابقة باستخدام أقطاب الحديد أن نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام تزداد مع زيادة شدة التيار وتكون القيمة المثلى عند شدة تيار 2.5 أمبير (13.9 مللي أمبير/سم^2) وزمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير لثلاث دقائق، حيث كانت نسبة الإزالة للعكارة أكثر من 98%. ولا حاجة لزيادة شدة التيار بسبب استهلاك كمية كبيرة من الكهرباء والمعدن دون مردود مقبول. هذه النتائج تتوافق مع دراسات مشابهة سابقة [56,47,3].

كما نلاحظ أن زيادة نسبة إزالة العكارة لجميع العينات المدروسة عند المجال من 85-95% يتطلب زيادة شدة التيار الكهربائي من 2 إلى 3 أضعاف وهذا يدل على صعوبة إزالة العكارة كلياً واستهلاك أكبر للطاقة الكهربائية، وخاصة عندما نصل لقيم تصل فيها نسبة إزالة العكارة لأكثر من 95%.

7-1-2: تأثير شدة التيار الكهربائي على الـ TDS و الـ pH:

وتوضح الجداول الآتية (7-7) و(7-8) و(7-9) و(7-10) و(7-11) نتائج التجارب العملية لفاعلية التخثير الكهربائي مع أقطاب الحديد على تغير قيمة كمية الأملاح الكلية المنحلة الـ TDS و درجة الحموضة الـ pH للمياه الخام الموضحة في الجدول (6-2) تبعاً لتغير شدة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي.

الجدول رقم (7-7): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	905	7.03	939	7.05	981	7.04	1010	7.06
1.5	898	7.08	927	7.07	972	7.10	995	7.11
2.0	889	7.11	915	7.15	964	7.14	970	7.15
2.5	877	7.15	902	7.22	955	7.20	959	7.24
3.0	862	7.20	890	7.29	937	7.24	940	7.30
3.5	870	7.25	897	7.34	942	7.30	947	7.35

الجدول رقم (7−8): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتان باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	902	7.04	939	7.05	978	7.05	1015	7.04
1.5	894	7.09	927	7.10	970	7.08	998	7.09
2.0	885	7.16	915	7.17	961	7.17	975	7.14
2.5	872	7.21	902	7.25	952	7.25	955	7.23
3.0	860	7.27	895	7.30	940	7.29	943	7.28
3.5	875	7.31	898	7.33	938	7.32	949	7.30

الجدول رقم (7−9): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي ثلاث دقائق باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	908	7.07	939	7.05	980	7.04	1009	7.06
1.5	893	7.11	928	7.1	971	7.1	995	7.10
2.0	884	7.16	915	7.15	963	7.15	971	7.18
2.5	870	7.22	902	7.26	950	7.24	959	7.25
3.0	861	7.30	890	7.30	935	7.30	940	7.30
3.5	877	7.34	905	7.35	947	7.31	954	7.35

الجدول رقم (7−10): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة أربع دقائق باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	903	7.06	939	7.05	980	7.03	1010	7.04
1.5	896	7.12	927	7.11	971	7.09	996	7.13
2.0	882	7.14	915	7.16	965	7.13	970	7.17
2.5	875	7.21	904	7.25	952	7.25	960	7.25
3.0	863	7.26	890	7.29	933	7.28	942	7.28
3.5	879	7.31	909	7.33	948	7.32	956	7.34

الجدول رقم (7−11): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة خمس دقائق باستخدام أقطاب حديد.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	900	7.03	939	7.05	985	7.04	1005	7.01
1.5	894	7.10	927	7.11	971	7.09	995	7.12
2.0	885	7.18	915	7.16	963	7.12	970	7.17
2.5	872	7.25	902	7.25	952	7.25	959	7.21
3.0	860	7.29	890	7.28	935	7.30	940	7.29
3.5	880	7.31	915	7.32	955	7.35	962	7.30

لقد أوضحت التجارب العملية أن عملية التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب الحديد كانت شبه حيادية تجاه قيمة الـ pH، أما بالنسبة لملوحة المياه المعالجة فانخفضت بشكل بسيط بحدود 5%. وهذه النتائج متوافقة مع دراسات أخرى سابقة [56,47,3].

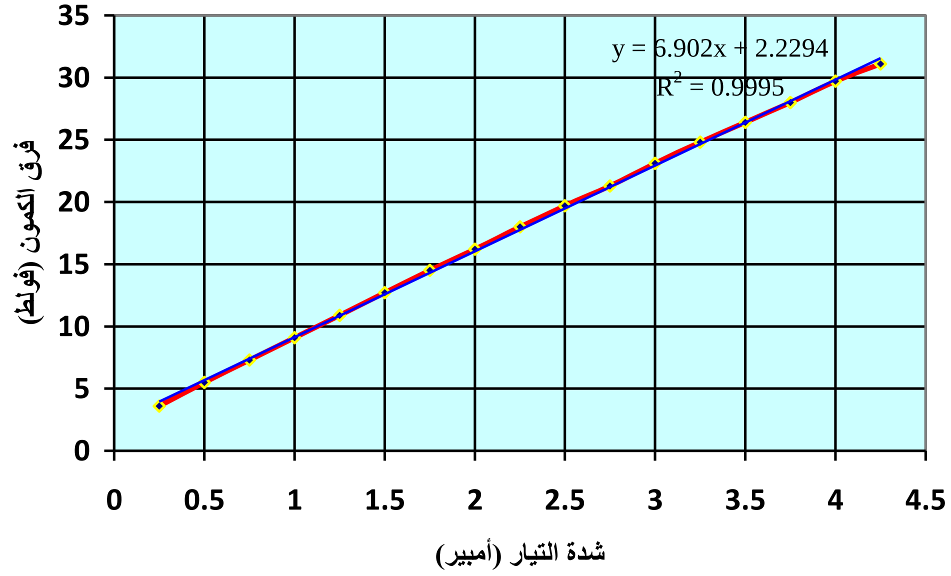
7-2: التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب من الفولاذ عيار 304:

7-2-1: تأثير شدة التيار الكهربائي على نسبة إزالة العكارة:

غيرت شدة التيار الكهربائي من اجل عينات المياه المذكورة في الجدول (6-2) وفق القيم الموضحة في الجدول (7-12) التالي:

الجدول رقم (7-12): قيم شدة التيار الكهربائي المستخدمة في مفاعل التخثير الكهربائي (باستخدام أقطاب الفولاذ المسافة بين القطبين 3 سم).

شدة التيار (أمبير)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
كثافة التيار (مللي أمبير/سم^2)	2.78	5.56	8.33	11.11	13.89	16.67	19.44	22.22
فرق الكمون (فولط)	5.5	9.1	12.7	16.2	19.7	23.1	26.4	29.1

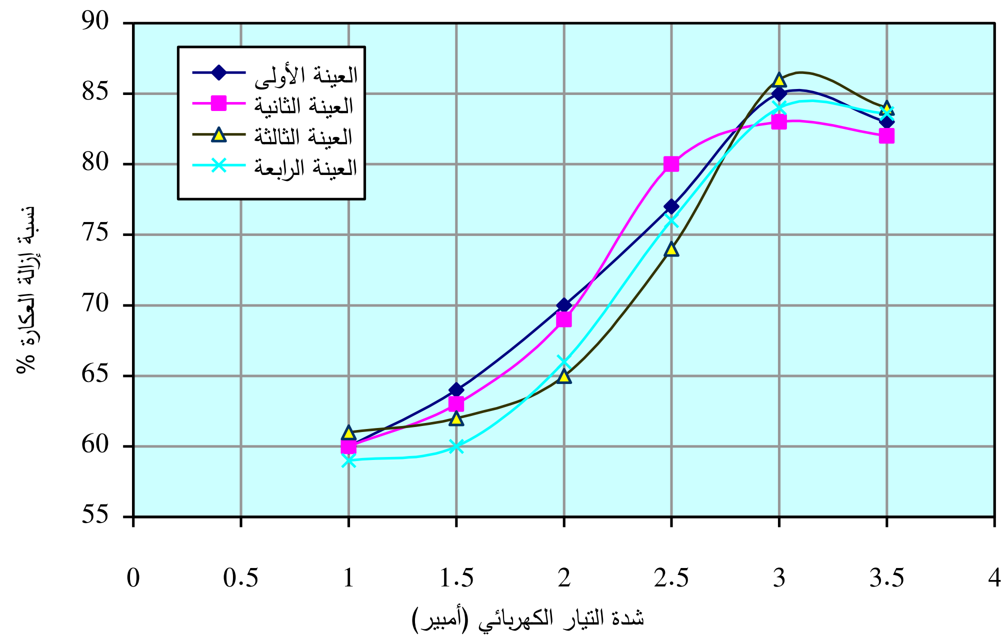


الشكل (7-7) العلاقة بين شدة التيار وفرق الكمون في مفاعل التخثير الكهربائي (باستخدام أقطاب الفولاذ).

وتوضح الجداول والأشكال الآتية نتائج التجارب العملية لفاعلية التخثير الكهربائي مع أقطاب الفولاذ على نسبة إزالة العكارة تبعاً لتغير شدة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي.

الجدول رقم (7-13): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	8	60	24	60	39	61	57.4	59
1.5	7.2	64	22.2	63	38	62	56	60
2.0	6	70	18.6	69	35	65	47.6	66
2.5	4.6	77	12	80	26	74	33.6	76
3.0	3	85	10.2	83	14	86	22.4	84
3.5	3.5	83	10.7	82	16	84	22.9	83.6

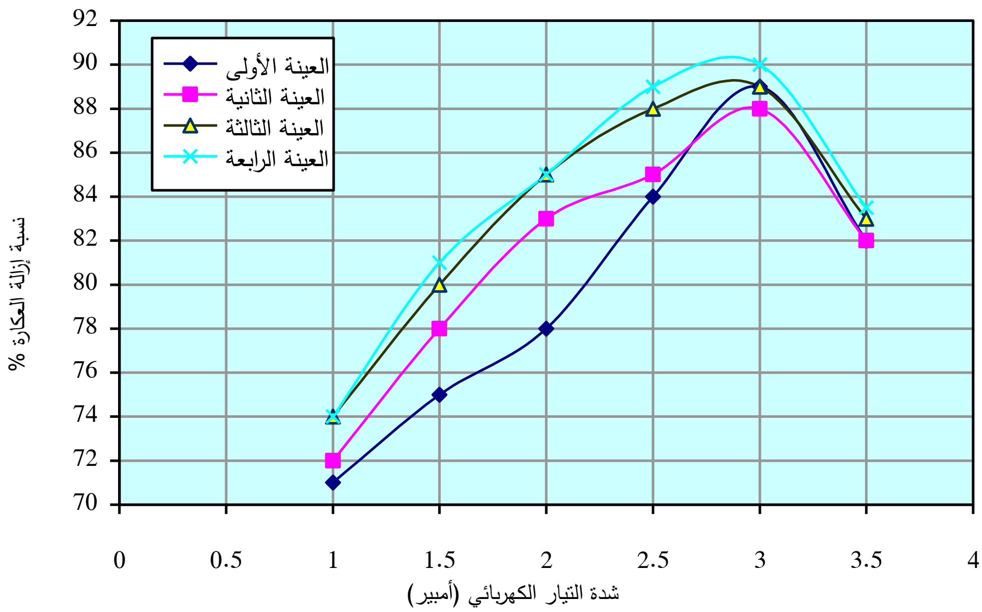


الشكل (7-8) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة دقيقة واحدة (باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304).

نلاحظ من الجدول (7-13) والشكل (7-8) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 83-86% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) وذلك من أجل زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة.

الجدول رقم (7-14): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتان باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	5.8	71	16.8	72	26	74	36.4	74
1.5	5	75	13.2	78	20	80	26.6	81
2.0	4.4	78	10.2	83	15	85	21	85
2.5	3.2	84	9	85	12	88	15.4	89
3.0	2.2	89	7.2	88	11	89	14	90
3.5	3.6	82	10.9	82	17	83	23.1	83.5

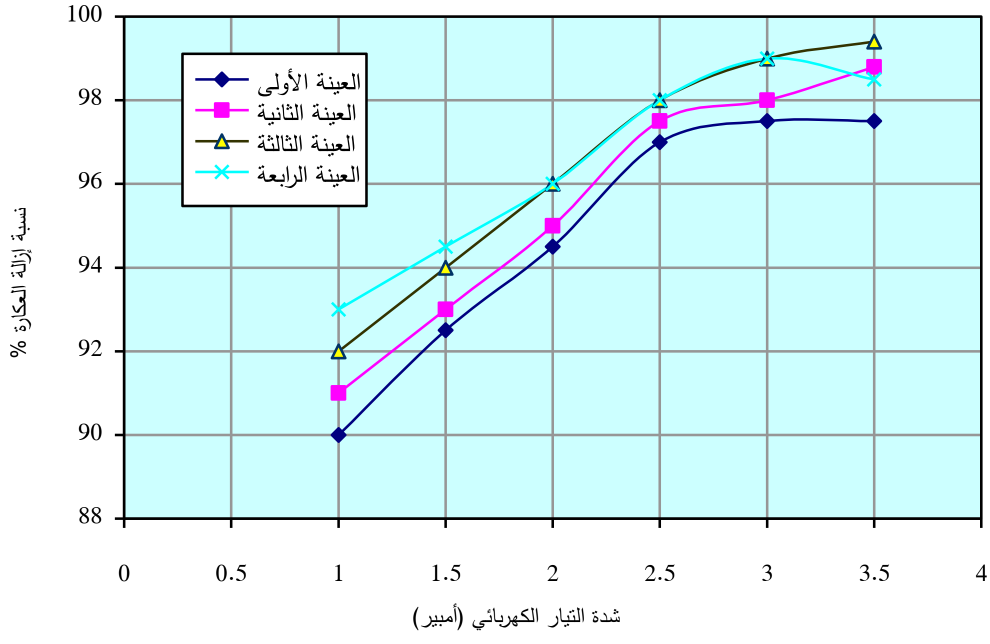


الشكل (7-9) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة دقيقتان (باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304).

نلاحظ من الجدول (7-14) والشكل (7-9) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال %90-88 عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) وذلك من أجل زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتان.

الجدول رقم (7–15): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة ثلاث دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	2	90	5.4	91	8	92	9.8	93
1.5	1.4	93	4.2	93	6	94	8.4	94
2.0	1	95	3	95	4	96	5.6	96
2.5	0.4	98	1.2	98	2	98	2.8	98
3.0	0.4	98	1.2	98	1	99	1.4	99
3.5	0.5	97.5	0.7	98.8	1.6	98.4	2.1	98.5

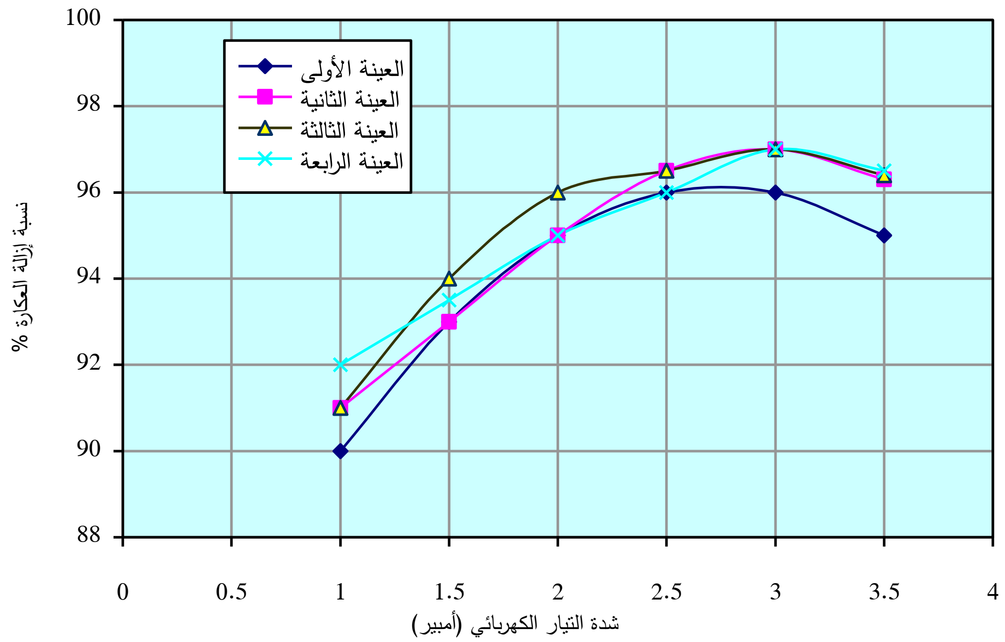


الشكل (7–10) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة ثلاثة دقائق (باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304).

نلاحظ من الجدول (7–15) والشكل (7–10) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 97.5–99% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) وذلك من أجل زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة ثلاث دقائق.

الجدول رقم (7-16): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة أربع دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	2	90	5.4	91	9	91	11.2	92
1.5	1.4	93	4.2	93	6	94	9.1	93.5
2.0	1	95	3	95	4	96	7	95
2.5	0.8	96	2.1	96.5	3.5	96.5	5.6	96
3.0	0.8	96	1.8	97	3	97	4.2	97
3.5	1.0	95	2.2	96.3	3.6	96.4	4.9	96.5

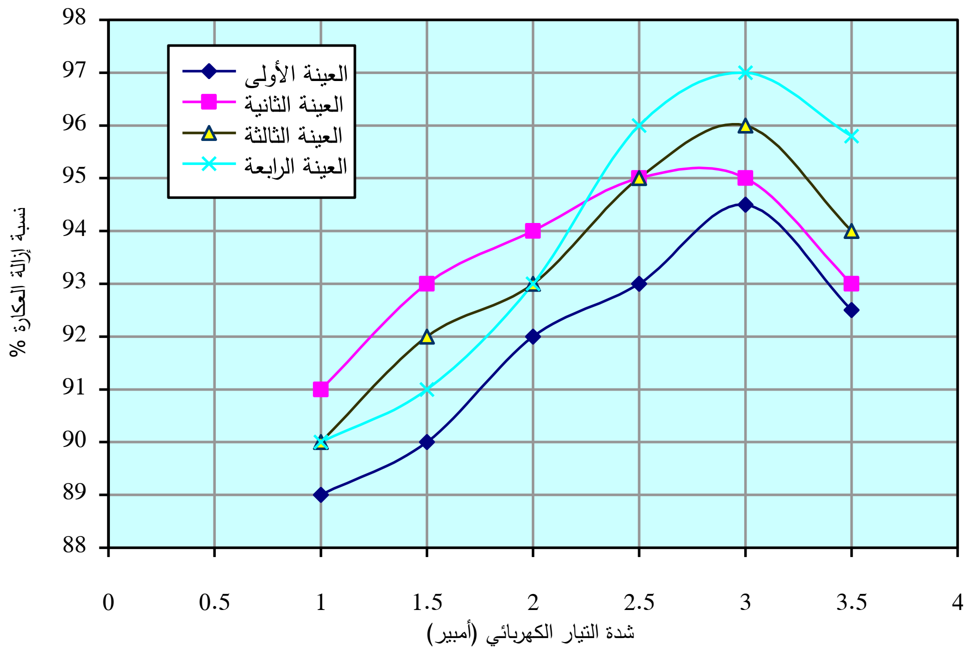


الشكل (7-11) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة أربع دقائق (باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304).

نلاحظ من الجدول (7-16) والشكل (7-11) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 96-97% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.67 مللي أمبير/سم^2) زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي أربع دقائق.

الجدول رقم (7-17): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة خمس دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى NTU 20		عينة ثانية NTU 60		عينة ثالثة NTU 100		عينة رابعة NTU 140	
	قيمة العكارة بعد المعالجة NTU (نسبة الإزالة %)							
	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%	قيمة	%
1.0	2.2	89	5.4	91	10	90	14	90
1.5	1.4	90	4.2	93	8	92	12.6	91
2.0	1.6	92	3.6	94	7	93	9.8	93
2.5	1.4	93	3	95	5	95	5.6	96
3.0	1.1	94.5	3	95	4	96	4.2	97
3.5	1.5	92.5	4.2	93	6	94	5.9	95.8



الشكل (7-12) نسبة إزالة العكارة مع شدة التيار الكهربائي وتطبيق التيار لمدة خمس دقائق (باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304).

نلاحظ من الجدول (7−17) والشكل (7−12) ازدياد نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام مع زيادة شدة التيار لتصل لقيمة عظمى ضمن المجال 94−97% عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.7 مللي أمبير/سم^2) زمن تطبيق التيار في مفاعل التختير الكهربائي خمس دقائق.

إذاَ نلاحظ بشكل عام من النتائج التجريبية السابقة باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304 أن نسبة إزالة العكارة لجميع عينات المياه الخام تزداد مع زيادة شدة التيار وتكون القيمة المثلى عند شدة تيار 3 أمبير (كثافة التيار 16.7 مللي أمبير/سم^2) وزمن تطبيق التيار في مفاعل التختير لمدة ثلاث دقائق، حيث كانت نسبة الإزالة للعكارة 99%. ولا حاجة لزيادة شدة التيار أكثر من ذلك لأنه سيكون غير اقتصادي بسبب استهلاك كمية كبيرة من الكهرباء والمعدن دون مردود مقبول. هذه النتائج تتوافق مع دراسات مشابهة سابقة [56,54,47,3].

كما نلاحظ أن زيادة نسبة إزالة العكارة لجميع العينات المدروسة عند المجال من 85−95% يتطلب زيادة شدة التيار الكهربائي من 2 إلى 3 أضعاف وهذا يدل على صعوبة إزالة العكارة كلياً واستهلاك أكبر للطاقة الكهربائية، وخاصة عندما نصل لقيم تصل فيها نسبة إزالة العكارة لأكثر من 95%.

وبما أن فاعلية الحديد قريبة جداً من فاعلية الفولاذ لذلك يمكن استخدام أقطاب الحديد بسبب انخفاض سعره إلى الربع تقريباً بالمقارنة مع الفولاذ. على أن يتم رفع الأقطاب من الماء عند توقف الوحدة عن العمل حتى لا تصدأ وتتآكل. كما ينبغي إضافة فلتر فحم خاص من نوع البيرم بعد وحدة التختير الكهربائي لإزالة أي آثار لشوارد الحديد يمكن أن تكون موجودة في المياه المعالجة قبل دخولها لأغشية تحلية المياه بالتناضح العكسي لأنها شديدة التأثر بشوارد الحديد وتسبب تخريبها. كما يمكن استخدام أقطاب الفولاذ لما تتميز به من مقاومة للتأكسد في المياه عند توقف الوحدة عن العمل، وهذا يخفف كثيراً من كمية الحديد المنحلة في المياه الخام وبالتالي حماية أفضل لأغشية تحلية المياه من شوارد الحديد التي يمكن أن تتسرب إلى الأغشية، ونحن ننصح باستخدام أقطاب الفولاذ عيار 304 بدلاً من أقطاب الحديد العادي في وحدة التختير الكهربائي بسبب مقاومته للصدأ وانخفاض نسبة الحديد المنحل في المياه المعالجة. وبناءاً على النتائج السابقة فإن استخدام الفولاذ أكثر فاعلية واقل خطورة من تسرب شوارد الحديد إلى غشاء التناضح العكسي لذلك سنستخدم الفولاذ في التجارب اللاحقة الخاصة بوحدة التناضح العكسي.

7−2−2: تأثير شدة التيار الكهربائي على الـ TDS و الـ pH:

وتوضح الجداول الآتية (7−18) و(7−19) و(7−20) و(7−21) و(7−22) نتائج التجارب العملية لفاعلية التختير الكهربائي مع أقطاب الفولاذ عيار 304 على تغير قيمة كمية الأملاح الكلية المنحلة الـ TDS و درجة الحموضة الـ pH للمياه الخام الموضحة في الجدول (6−2) تبعاً لتغير شدة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي.

الجدول رقم (7–18): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة باستخدام أقطاب فولاذ.

عينة رابعة NTU 140		عينة ثالثة NTU 100		عينة ثانية NTU 60		عينة أولى NTU 20		شدة التيار أمبير
pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	
7.06	1010	7.0	980	7.04	939	7.02	885	1.0
7.11	995	7.09	971	7.12	927	7.07	892	1.5
7.16	973	7.13	963	7.15	915	7.14	881	2.0
7.26	962	7.22	952	7.25	902	7.21	874	2.5
7.28	942	7.30	935	7.32	890	7.29	867	3.0
7.34	944	7.35	937	7.34	895	7.33	865	3.5

الجدول رقم (7–19): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتان باستخدام أقطاب فولاذ.

عينة رابعة (NTU 140)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة أولى (NTU 20)		شدة التيار أمبير
pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	
7.05	1008	7.06	982	7.05	941	7.05	900	1.0
7.13	991	7.12	972	7.11	922	7.12	894	1.5
7.15	970	7.14	960	7.16	916	7.12	884	2.0
7.21	959	7.27	954	7.23	900	7.22	872	2.5
7.28	940	7.32	933	7.29	893	7.28	865	3.0
7.34	941	7.34	937	7.35	892	7.34	860	3.5

الجدول رقم (7–20): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة ثلاث دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	905	7.05	939	7.05	984	7.05	1012	7.05
1.5	896	7.08	927	7.09	971	7.10	995	7.11
2.0	887	7.12	918	7.14	963	7.15	970	7.16
2.5	875	7.22	902	7.24	952	7.25	959	7.23
3.0	861	7.31	890	7.29	935	7.28	940	7.31
3.5	869	7.32	904	7.34	941	7.35	950	7.33

الجدول رقم (7–21): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة أربع دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	900	7.02	942	7.03	980	7.06	1009	7.04
1.5	894	7.10	927	7.12	971	7.09	997	7.11
2.0	885	7.12	916	7.13	963	7.11	972	7.15
2.5	872	7.27	902	7.26	952	7.23	961	7.22
3.0	860	7.30	890	7.31	935	7.32	940	7.27
3.5	872	7.32	901	7.34	943	7.35	953	7.31

الجدول رقم (7–22): نتائج الـ TDS و الـ pH للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة خمس دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار أمبير	عينة أولى (NTU 20)		عينة ثانية (NTU 60)		عينة ثالثة (NTU 100)		عينة رابعة (NTU 140)	
	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH	TDS (mg/l)	pH
1.0	902	7.04	939	7.01	980	7.05	1010	7.06
1.5	890	7.11	927	7.09	971	7.08	995	7.11
2.0	888	7.13	915	7.15	963	7.14	970	7.16
2.5	874	7.22	902	7.26	952	7.23	959	7.25
3.0	863	7.28	890	7.30	935	7.29	940	7.31
3.5	879	7.33	912	7.34	951	7.34	960	7.33

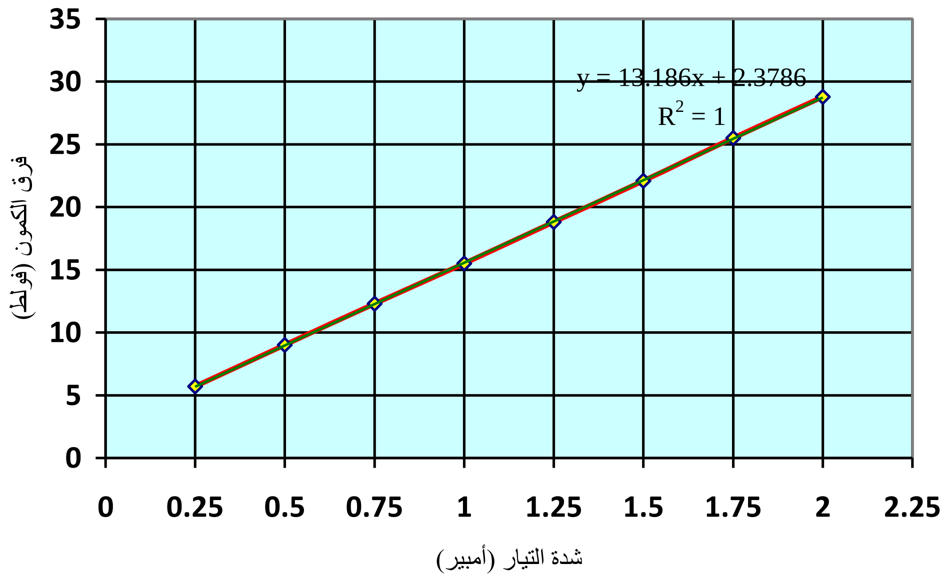
أوضحت التجارب العملية أن عملية التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب فولاذ كانت شبه حيادية تجاه قيمة الـ pH، أما بالنسبة لملوحة المياه المعالجة فانخفضت بشكل بسيط بحدود 5%. وهذه النتائج متوافقة مع دراسات أخرى سابقة [56,47,3].

7–3: تأثير المعالجة الأولية لمياه التغذية على كفاءة وحدة التناضح العكسي:

استخدمت في هذه المرحلة من الدراسة مياه خام ملوحتها 500 ملغ/ل وعكارتها 10 NTU ومواصفاتها موضحة في الجدول رقم (3–6). وهي المياه التي سوف تستخدم لتغذية وحدتي التناضح العكسي المخبريتين. غيرت شدة التيار الكهربائي وفق القيم الموضحة في الجدول التالي:

الجدول رقم (7–23): قيم شدة التيار الكهربائي المستخدمة في مفاعل التخثير الكهربائي (باستخدام أقطاب فولاذ عيار 304 المسافة بين القطبين 3 سم).

شدة التيار (أمبير)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
كثافة التيار (مللي أمبير/سم^2)	1.39	2.78	4.16	5.56	6.94	8.33	9.72	11.11
فرق الكمون (فولط)	5.7	9.0	12.3	15.5	18.8	22.1	25.5	28.8



الشكل (7–13) العلاقة بين شدة التيار وفرق الكمون في مفاعل التخثير الكهربائي (باستخدام أقطاب الفولاذ).

7–3–1: تأثير شدة التيار الكهربائي باستخدام أقطاب من الفولاذ عيار 304 على نسبة إزالة العكارة لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

بداية سنحدد القيمة المثلى لشدة التيار الكهربائي وزمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير والتي تكون عندها نسبة إزالة العكارة عند قيمتها العظمى لمياه التغذية المستخدمة في وحدتي التناضح العكسي ليتم اعتمادها طوال مدة التجارب.

الجدول رقم (7–24): نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقة واحدة باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار (أمبير)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
قيم العكارة (NTU)	2.5	2.1	1.7	1.2	1.0	0.9	1.0	1.0
نسبة إزالة العكارة %	75	79	83	88	90	91	90	90

الجدول رقم (7–25): نتائج نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة دقيقتان باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار (أمبير)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
قيم العكارة (NTU)	1.9	1.8	1.5	1.1	0.9	0.8	0.9	1.0
نسبة إزالة العكارة %	81	82	85	89	91	92	91	90

الجدول رقم (7–26): نتائج نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة ثلاث دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

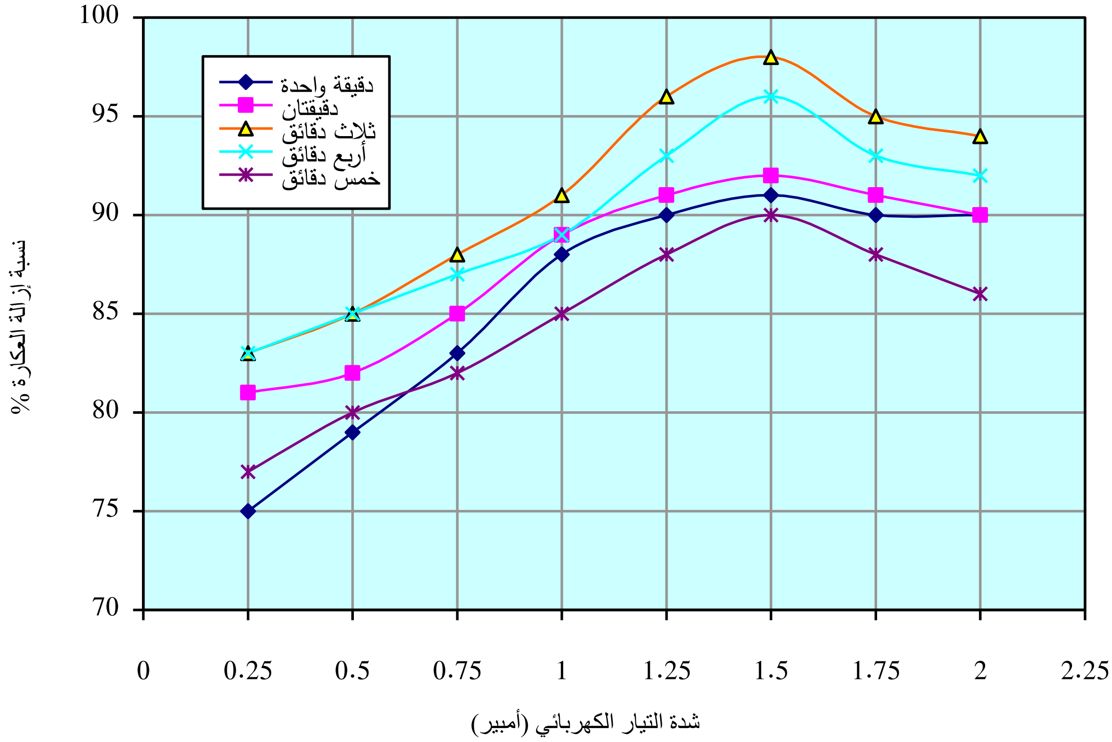
شدة التيار (أمبير)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
قيم العكارة (NTU)	1.7	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3	0.5	0.7
نسبة إزالة العكارة %	83	85	88	91	96	98	95	93

الجدول رقم (7–27): نتائج نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة أربع دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار (أمبير)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
قيم العكارة (NTU)	1.7	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.7	0.8
نسبة إزالة العكارة %	83	85	87	89	93	96	93	92

الجدول رقم (7–28): نتائج نسبة إزالة العكارة للمياه بعد المعالجة مع زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي لمدة خمس دقائق باستخدام أقطاب فولاذ.

شدة التيار (أمبير)	0.25	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	1.75	2.0
قيم العكارة (NTU)	2.3	2.0	1.8	1.7	1.2	1.0	1.2	1.4
نسبة إزالة العكارة %	77	80	82	83	88	90	88	86



ال

شكل (7−14) نسبة إزالة العكارة مع تغير شدة التيار الكهربائي ومدة تطبيق التيار.

نلاحظ من النتائج التجريبية أن نسبة إزالة العكارة تزداد مع زيادة شدة التيار، وتكون القيمة المثلى عند شدة تيار 1.5 أمبير (كثافة التيار 8.3 مللي أمبير/سم^2) وزمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير ثلاث دقائق. حيث كانت نسبة الإزالة للعكارة أكثر من 98%. ولا حاجة لزيادة شدة التيار أكثر من ذلك لأنه سيكون غير اقتصادي بسبب استهلاك كمية كبيرة من الكهرباء والمعدن دون مردود مقبول. هذه النتائج تتوافق مع دراسات مشابهة سابقة [56,54,47,3].

وبما أن الحديد يصدأ بسرعة في الماء لذلك اعتمدنا هنا أقطاب الفولاذ رغم ارتفاع سعرها بالمقارنة مع الحديد إلا أنها لا تصدأ وبالتالي لا تشكل تهديداً لأغشية تحلية المياه مثل الحديد الذي يصدأ وينحل بسرعة ويعطي كمية كبيرة من شوارد الحديد التي تهاجم أغشية تحلية المياه وتسبب توسخها وتلفها.

وبشكل عام ينبغي إضافة فلتر فحم خاص من نوع البيرم بعد وحدة التخثير الكهربائي لإزالة أي آثار لشوارد الحديد يمكن أن تكون موجودة في المياه المعالجة قبل دخولها لأغشية تحلية المياه بالتناضح العكسي لأنها شديدة التأثر بشوارد الحديد وتسبب تخريبها.

أجريت التجارب في هذا القسم من العمل بالطريقة المستمرة عند تدفق للمياه الخام 40 l/hr عند ضغط 8 بار، وشدة التيار الكهربائي قيمته 1.5 أمبير (كثافة التيار 8.3 مللي أمبير/سم^2) وفرق الكمون 22.1 فولط، وزمن البقاء في مفاعل التخثير الكهربائي ثلاث دقائق. ملوحة المياه الخام 500

mg/l. استخدم في مفاعل التخثير الكهربائي (حجمه 2 ليتر) صفائح من الفولاذ عيار 304. عدد الصفائح في مفاعل التخثير اثنان. أبعاد الصفيحة المغمورة في المياه هي: طول 23.5 سم وعرض 9 سم وسماكة 3 ملم، يغمر من الصفيحة 20 سم في الماء والمسافة بين الصفيحتين 3 سم.

7-3-2: نتائج الطريقة التقليدية في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

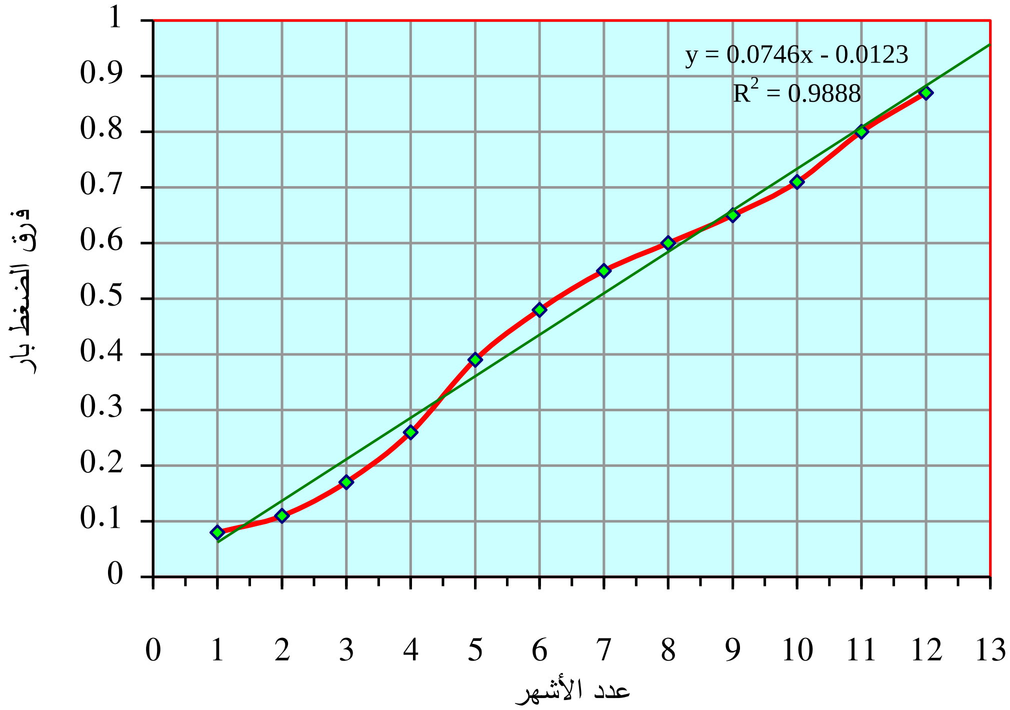
ثبتت قيمة درجة حرارة الغرفة عند 25 ^{o}م وثبتت درجة الحموضة للمياه الخام المدروسة باستخدام حمض الكبريت عند القيمة pH= 7.0، وأخذت النتائج على مدى اثني عشر شهر متواصلة. لقد أخذت قراءات يومية (المتوسط اليومي) لكل متغير وفي نهاية الشهر أخذت القيمة المتوسطة الشهرية للمتغير المدروس. في الطريقة التقليدية تم تبديل الفلتر الأول (بولي بروبلن بمسام 5 ميكرون) مرة كل شهرين أما الفلترين الثاني (تحتوي حبيبات من الفحم الفعال) والثالث (قالب من الفحم الفعال بمسام 5 ميكرون) فبدلت مرة واحدة كل ستة أشهر وذلك حسب تعليمات الشركة البائعة لوحدة التحلية.

7-3-2-1: دراسة تغير فرق الضغط مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7-29) والشكل (7-15) نتائج قياس تغير فرق الضغط مع الزمن بين طرفي غشاء التحلية في وحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة التقليدية عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).

الجدول رقم (7-29): تغير فرق الضغط مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	خامس	سادس
ΔP بار	0.08	0.11	0.17	0.26	0.39	0.48
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
ΔP بار	0.55	0.60	0.65	0.71	0.8	0.87



الشكل (7–15) تغير فرق الضغط مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

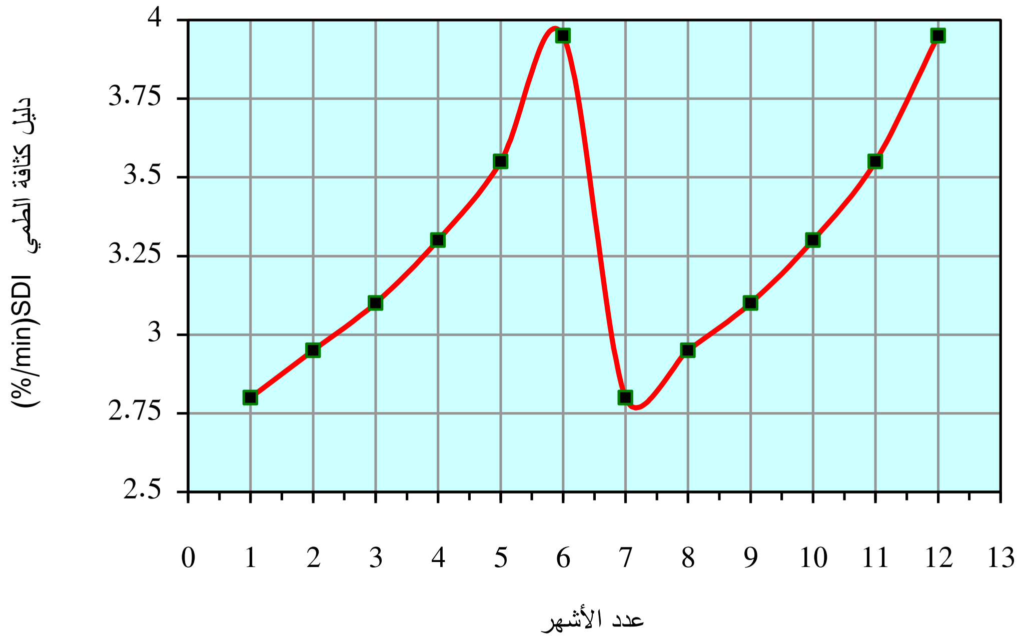
نلاحظ من الجدول (7–29) والشكل (7–15) ازدياد فرق الضغط بين طرفي غشاء التحلية مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 0.87 بار بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7–3–2–2: دراسة تغير دليل كثافة الطمي الـ SDI مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7–30) والشكل (7–16) نتائج قياس تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن للمياه الخام المغذية لوحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة التقليدية عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6–3).

الجدول رقم (7–30): تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	خامس	سادس
SDI %/د	2.80	2.95	3.10	3.33	3.55	3.95
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
SDI %/د	2.80	2.95	3.10	3.33	3.55	3.95



الشكل (7−16) تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

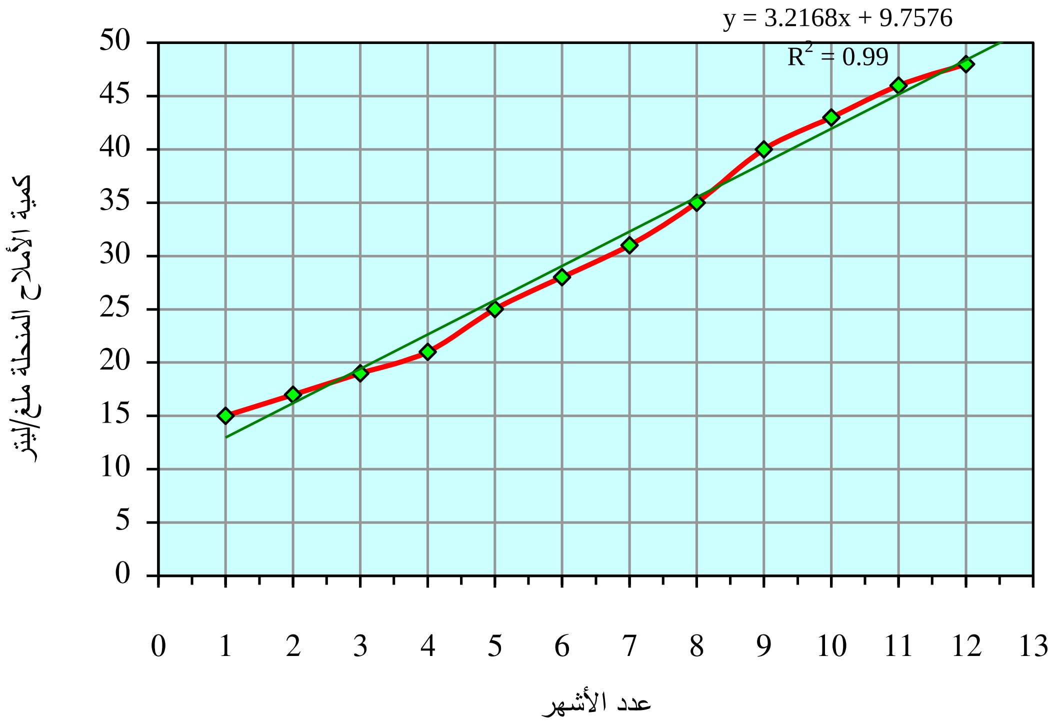
نلاحظ من الجدول (7−30) والشكل (7−16) ازدياد قيمة دليل كثافة الطمي SDI للمياه المغذية لوحدة التناضح العكسي مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 3.95 %/min بعد مرور ستة أشهر ثم تنخفض القيمة لحوالي 2.8 %/min بسبب تغيير الفلتر الميكروني البولي بروبلن وكذلك الفحم الفعال، ثم ترتفع قيمة دليل كثافة الطمي SDI للمياه المغذية لوحد التناضح العكسي مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 3.95 %/min بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7−3−2−3: دراسة تغير ملوحة المياه المنتجة مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7−31) والشكل (7−17) نتائج قياس تغير كمية الأملاح المنحلة الكلية مع الزمن في المياه المنتجة في وحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة التقليدية عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6−3).

الجدول رقم (7−31): تغير كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	خامس	سادس
TDS (mg/l).	15	17	19	21	25	28
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
TDS (mg/l)	31	35	40	43	46	48



الشكل (7–17) تغير كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

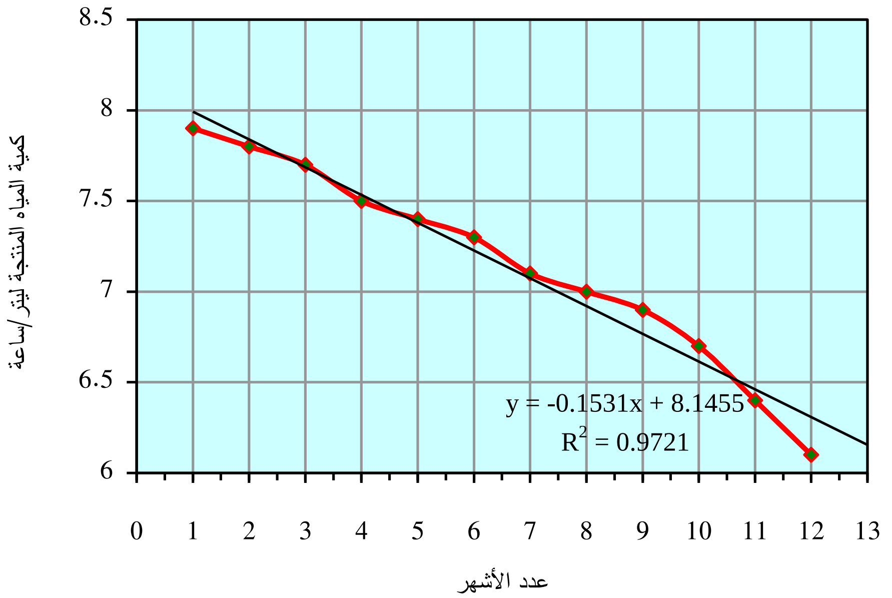
نلاحظ من الجدول (7–31) والشكل (7–17) ازدياد كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن لتصل لأعلى قيمة لها وهي 48 mg/l بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7–3–2–4: دراسة تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7–32) والشكل (7–18) نتائج قياس تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن في وحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة التقليدية عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6–3).

الجدول رقم (7–32): تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	خامس	سادس
كمية المنتج Q l/hr	7.9	7.8	7.7	7.5	7.4	7.3
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
كمية المنتج Q l/hr	7.1	7.0	6.9	6.7	6.4	6.1



الشكل (7-18) تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

نلاحظ من الجدول (7-32) والشكل (7-18) انخفاض كمية المياه المنتجة مع الزمن لتصل لقيمة صغرى 6.1 l/hr بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7-3-3: نتائج الطريقة الجديدة في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

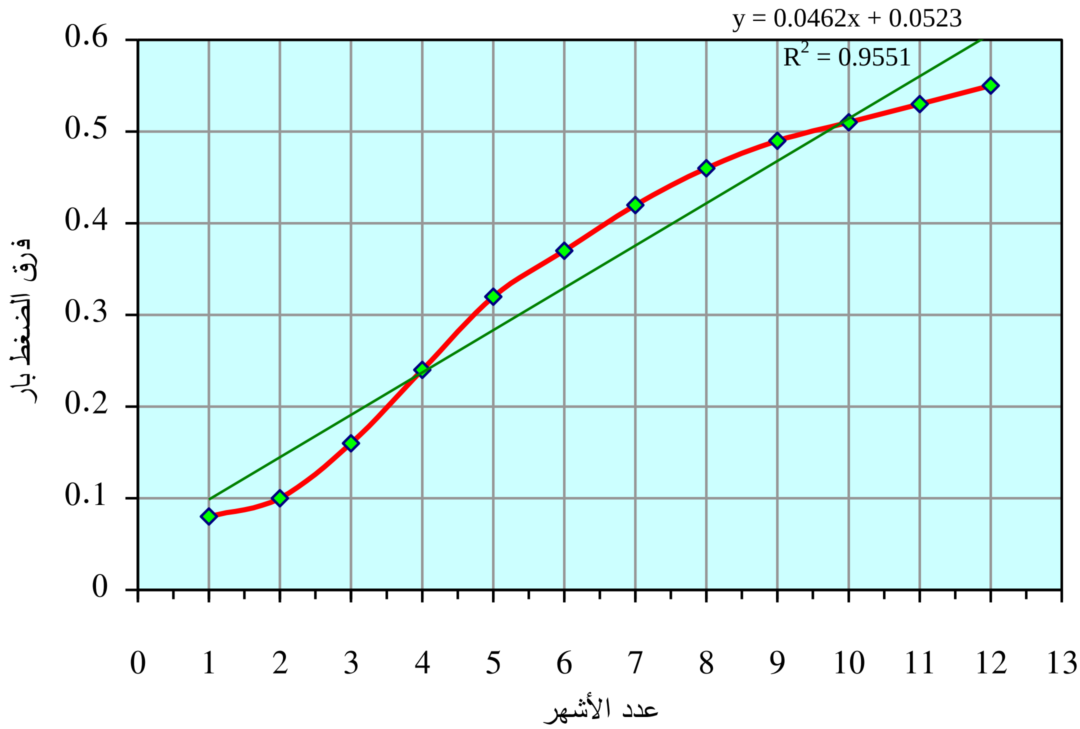
الفرق بين هذه الطريقة والطريقة التقليدية هو إضافة مرحلة التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب من الفولاذ عيار 304، وكذلك استخدام الفلتر الرملي لإزالة الرواسب المتشكلة في وحدة التخثير الكهربائي، ثم استخدام فلتر يحتوي مادة البيرم وهي مادة عبارة عن حبيبات تستخدم لإزالة شوارد الحديد المنحلة في المياه والناتجة عن استخدام أقطاب الفولاذ في وحدة التخثير الكهربائي. كل هذه المكونات تم إضافتها قبل وحدة التناضح العكسي التقليدية. وكما في طريقة المعالجة التقليدية لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي فقد تم تثبيت قيمة درجة الحرارة الغرفة عند 25^{o}م وتثبيت درجة الحموضة للمياه الخام المدروسة باستخدام حمض الكبريت عند القيمة pH= 7.0، وتم أخذ النتائج على مدى اثني عشر شهراً متواصلة، لقد تم أخذ قراءات يومية (المتوسط اليومي) لكل متغير وفي نهاية الشهر تم تسجيل القيمة المتوسطة الشهرية للمتغير المدروس. في الطريقة الجديدة كما في الطريقة التقليدية تم تغيير الفلتر الأول (بولي بروبلن بمسام 5 ميكرون) كل شهرين أما الفلترين الثاني (تحتوي حبيبات من الفحم الفعال) والثالث (قالب من الفحم الفعال بمسام 5 ميكرون) فيتم تغييرها كل ستة أشهر وذلك حسب تعليمات الشركة البائعة. كما تم الغسيل العكسي للفلتر الرملي ولفلتر البيرم لإزالة الرواسب الموجودة في هذه الفلاتر وذلك كل ثلاثة أيام أو عند ارتفاع فرق الضغط بين مدخل ومخرج الفلتر بشكل ملحوظ.

7-3-3-1: تغير فرق الضغط مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7-33) والشكل (7-19) نتائج قياس تغير فرق الضغط مع الزمن بين طرفي غشاء التحلية في وحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).

الجدول رقم (7-33): تغير فرق الضغط مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	خامس	سادس
ΔP بار	0.08	0.10	0.16	0.24	0.32	0.38
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
ΔP بار	0.42	0.46	0.49	0.51	0.53	0.55



الشكل (7-19) تغير فرق الضغط مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

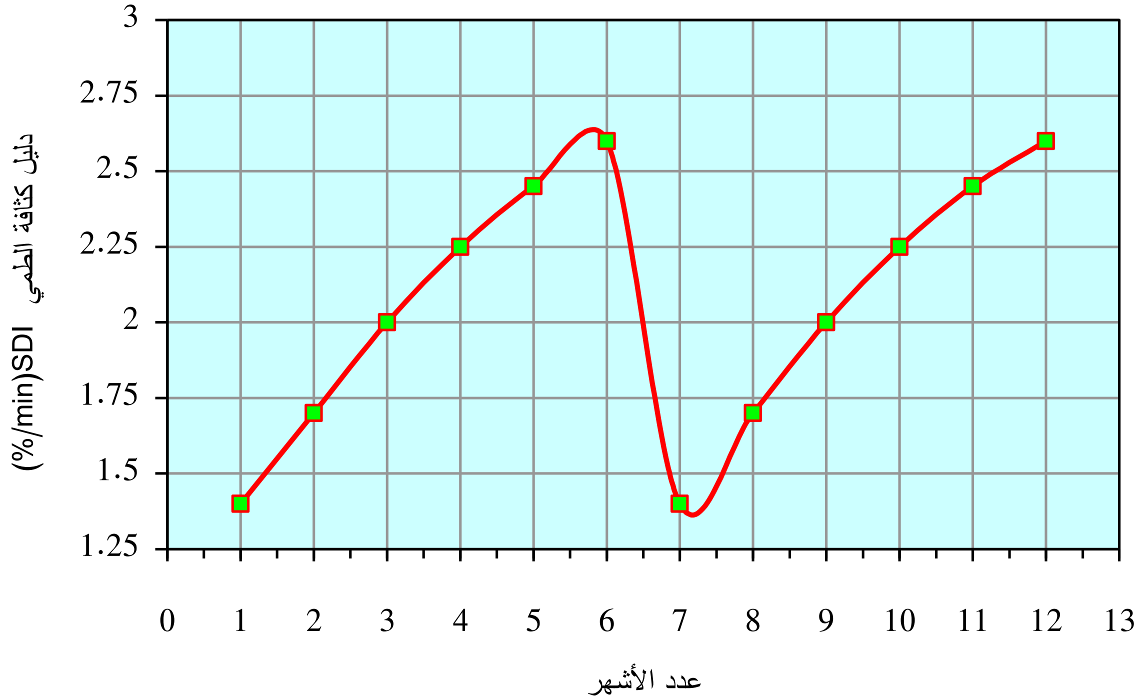
نلاحظ من الجدول (7-33) والشكل (7-19) ازدياد فرق الضغط بين طرفي غشاء التحلية مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 0.55 بار بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7-3-3-2: تغير دليل كثافة الطمي الـ SDI مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7-34) والشكل (7-20) نتائج قياس تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن للمياه الخام المغذية لوحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).

الجدول رقم (7-34): تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	الثالث	الرابع	خامس	سادس
SDI %/د	1.40	1.70	2.0	2.25	2.45	2.60
الشهر المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
SDI %/د	1.40	1.70	2.0	2.25	2.45	2.60



الشكل (7-20) تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

نلاحظ من الجدول (7-34) والشكل (7-20) ازدياد قيمة دليل كثافة الطمي SDI للمياه المغذية لوحدة التناضح العكسي مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 2.6 %/min بعد مرور ستة أشهر ثم تنخفض القيمة لحوالي 1.4 %/min بسبب تغيير الفلتر الميكروني البولي بروبلن وكذلك الفحم الفعال، ثم ترتفع

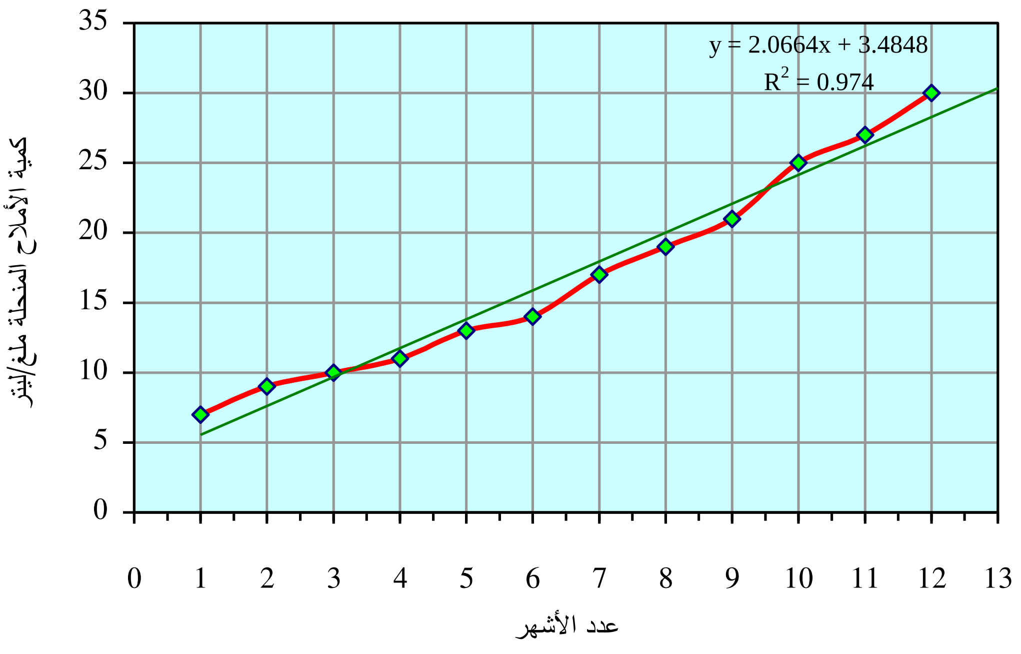
قيمة دليل كثافة الطمي SDI للمياه المغذية لوحدة التناضح العكسي مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 2.6 %/min بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7-3-3-3: تغير ملوحة المياه المنتجة الـ TDS مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7-35) والشكل (7-21) نتائج قياس تغير كمية الأملاح المنحلة الكلية مع الزمن في المياه المنتجة في وحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).

الجدول رقم (7-35): تغير كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	ثالث	رابع	خامس	سادس
TDS (mg/l)	7	9	10	11	13	14
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
TDS (mg/l)	17	19	21	25	27	30



الشكل (7-21) تغير كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

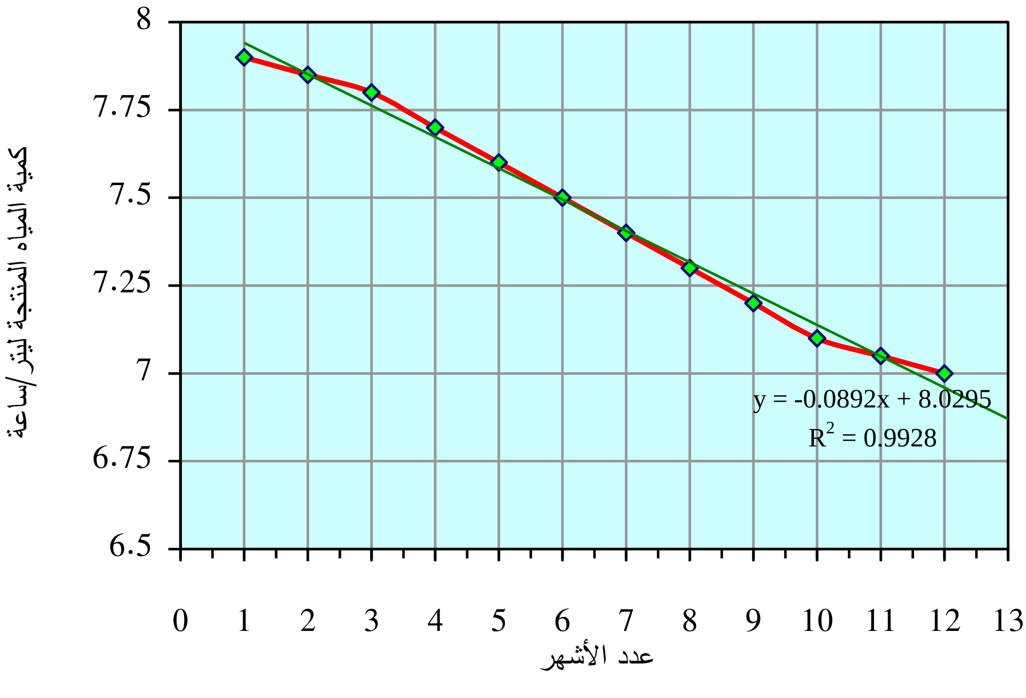
نلاحظ من الجدول (7-35) والشكل (7-21) ازدياد كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن لتصل لقيمة عظمى 30 mg/l بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7-3-3-4: دراسة تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن:

يوضح الجدول رقم (7-36) والشكل (7-22) نتائج قياس تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن في وحدة التناضح العكسي التي تعمل بالطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).

الجدول رقم (7-36): تغير كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة وكمية المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

الشهر / المتغير	الأول	الثاني	ثالث	رابع	خامس	سادس
كمية المنتج Q ليتر/سا	7.9	7.9	7.8	7.7	7.6	7.5
الشهر / المتغير	سابع	ثامن	تاسع	عاشر	احد عشر	اثنا عشر
كمية المنتج Q ليتر/سا	7.4	7.3	7.2	7.1	7.0	7.0



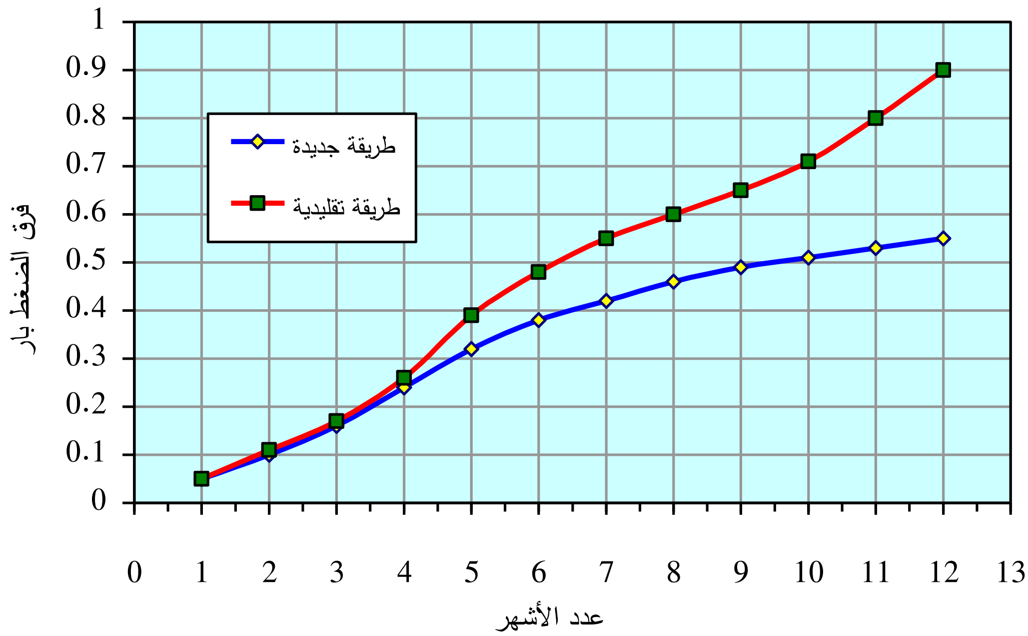
الشكل (7-22) تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن في الطريقة الجديدة لمعالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.

نلاحظ من الجدول (7-36) والشكل (7-22) انخفاض كمية المياه المنتجة مع الزمن لتصل لقيمة صغرى 7.0 l/hr بعد مرور عام على عمل وحدة التناضح العكسي.

7-4: المقارنة بين الطريقة التقليدية والطريقة الجديدة في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

7-4-1: مقارنة تأثير طريقتي المعالجة في تغير فرق الضغط مع الزمن:

يوضح الشكل (7-23) مقارنة نتائج قياس تغير فرق الضغط مع الزمن بين طرفي غشاء التحلية في وحدتي التناضح العكسي اللتين تعملان بالطريقة التقليدية والطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).



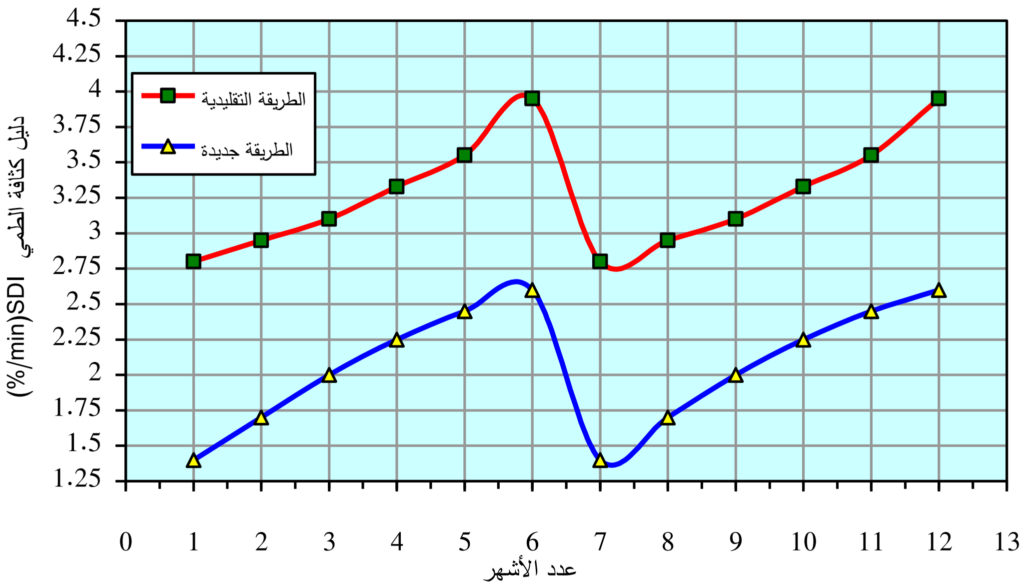
الشكل (7-23) مقارنة تأثير طريقتي المعالجة في تغير فرق الضغط مع الزمن.

نلاحظ من مقارنة نتائج طريقتي المعالجة التقليدية والمعالجة الجديدة لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي، وتأثير الطريقتين في تغير فرق الضغط مع الزمن، إن الطريقة الجديدة كانت أكثر فاعلية وكفاءة في المحافظة على فرق قليل في الضغط بين مدخل ومخرج غشاء التحلية $\triangle P =$ 0.55 bar بينما زاد فرق الضغط في الطريق التقليدية في المعالجة $\triangle P = 0.9$ bar.

لقد زاد فرق الضغط في الطريقة التقليدية على الطريقة الجديدة في المعالجة بنسبة: 64%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريق الجديدة.

7-4-2: مقارنة تأثير طريقتي المعالجة في تغير الـ SDI مع الزمن:

يوضح الشكل (7-24) مقارنة نتائج قياس تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن للمياه الخام المغذية لوحدتي التناضح العكسي اللتين تعملان بالطريقة التقليدية والطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).



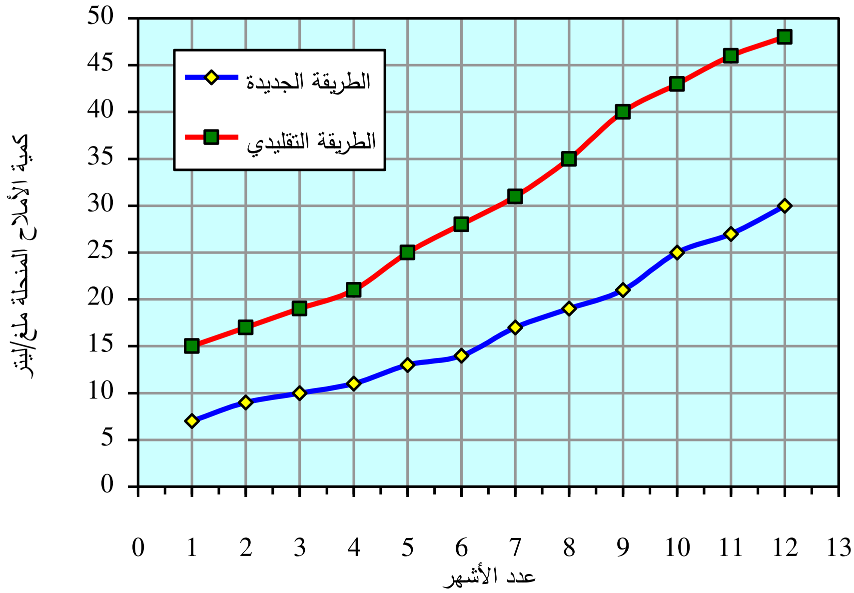
الشكل (7-24) مقارنة تأثير طريقتي المعالجة في تغير دليل كثافة الطمي مع الزمن.

نلاحظ من مقارنة نتائج طريقتي المعالجة التقليدية والمعالجة الجديدة لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي، وتأثير الطريقتين في تغير دليل كثافة الطمي الـ SDI مع الزمن، أن الطريقة الجديدة كانت أكثر فاعلية وكفاءة في تخفيض الـ SDI = 2.6%/min، بينما كانت القيمة في الطريقة التقليدية SDI = 3.95%/min.

لقد زاد دليل كثافة الطمي في الطريقة التقليدية على الطريقة الجديدة في المعالجة بنسبة: 52%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريق الجديدة. بينما في الطريق التقليدية فإن عمر الغشاء سيكون نصف عمره في الطريقة الجديدة. فإذا افترضنا أن العمر الافتراضي للغشاء ثلاث سنوات، فسوف ينخفض العمر إلى سنة ونصف في طريقة المعالجة التقليدية بسبب ارتفاع دليل كثافة الطمي.

7-4-3: مقارنة تأثير طريقتي المعالجة في تغير الأملاح المنحلة الصلبة الـ TDS مع الزمن:

يوضح الشكل (7-25) مقارنة نتائج قياس تغير كمية الأملاح المنحلة الكلية مع الزمن للمياه المنتجة في وحدتي التناضح العكسي اللتين تعملان بالطريقة التقليدية والطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).

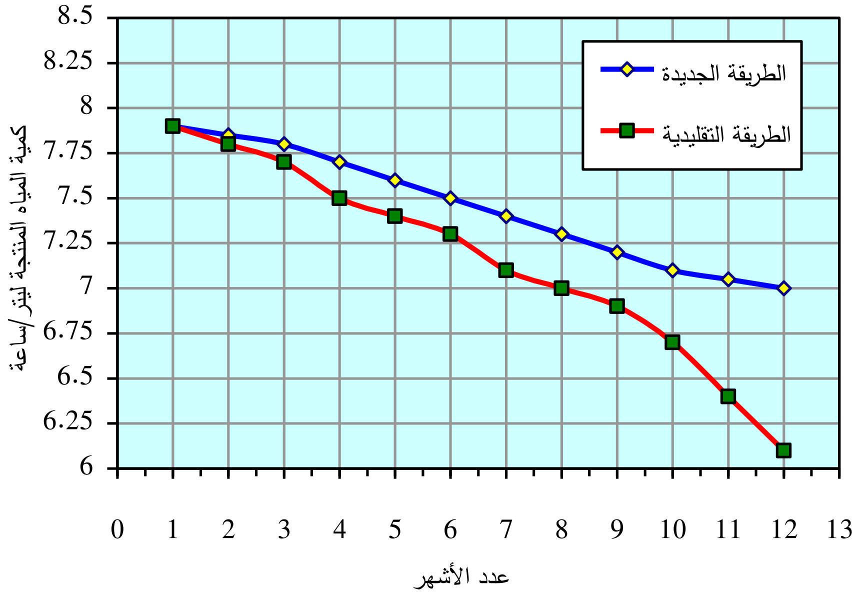


الشكل (7-25) مقارنة تأثير طريقتي المعالجة على تغير كمية الأملاح المنحلة في المياه المنتجة مع الزمن.

نلاحظ من مقارنة نتائج طريقتي المعالجة التقليدية والمعالجة الجديدة لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي، وتأثير الطريقتين في تغير كمية الأملاح المنحلة الـ TDS مع الزمن، أن الطريقة الجديدة كانت أكثر فاعلية وكفاءة في تخفيض الـ TDS = 30 mg/l، بينما في الطريق التقليدية فكانت كمية الأملاح المنحلة TDS = 48 mg/l. لقد زادت كمية الأملاح المنحلة في الطريقة التقليدية على الطريقة الجديدة في المعالجة بنسبة: 60%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريق الجديدة. بينما في الطريق التقليدية فإن توسخ الغشاء ساهم في زيادة كمية الأملاح المتسربة مع المياه المنتجة.

7-4-4: مقارنة تأثير طريقتي المعالجة في تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن:

يوضح الشكل (7-25) مقارنة نتائج قياس تغير كمية الأملاح المنحلة الكلية مع الزمن للمياه المنتجة في وحدتي التناضح العكسي اللتين تعملان بالطريقة التقليدية والطريقة الجديدة عند استخدام مياه التغذية ذات الملوحة 500 ملغ/ليتر والموضحة في الجدول (6-3).



الشكل (7–26) مقارنة تأثير طريقتي المعالجة على تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن.

نلاحظ من مقارنة نتائج طريقتي المعالجة التقليدية والمعالجة الجديدة لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي، وتأثير الطريقتين في تغير كمية المياه المنتجة مع الزمن، أن الطريقة الجديدة كانت أكثر فاعلية وكفاءة في المحافظة على كمية عالية من المياه المنتجة Q = 7 l/hr بينما كانت كمية المياه المنتجة وفق الطريقة التقليدية في المعالجة Q = 6.1 l/hr

لقد كانت كمية المياه المنتجة في الطريقة الجديدة أكبر من الكمية المنتجة وفق الطريقة التقليدية في المعالجة بنسبة: 15%.

وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريق الجديدة. بينما في الطريق التقليدية فإن توسخ الغشاء ساهم في انخفاض كمية المياه المنتجة.

الخلاصة:

إذن نستنتج مما سبق أن إضافة مرحلة التخثير الكهربائي مع فلتر مادة البيرم (لإزالة شوارد الحديد من مياه التغذية) في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي، له تأثير إيجابي كبير في تحسين فاعلية وكفاءة الوحدة وإطالة عمر غشاء التحلية.

كما نلاحظ ضرورة غسيل غشاء التحلية بعد مرور اثني عشر شهر على تشغيله وذلك لتخفيض فرق الضغط وتحسين أداء الغشاء وخاصة في الطريقة التقليدية في معالجة مياه تغذية وحدة التحلية.

7-5: المقارنة التقنية بين الطريقة الكيميائية التقليدية وطريقة التخثير الكهربائي في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي:

يوضح الجدول (7-37) المقارنة التقنية بين التخثير الكهربائي والتخثير الكيميائي[1-3-47].

وجه المقارنة	التخثير الكيميائي	التخثير الكهربائي
إضافة مواد كيميائية مخثرة	مطلوب	غير مطلوب
دقة عالية وحذر شديد	مطلوب	غير مطلوب
مستودعات تخزين	مطلوب	غير مطلوب
أجهزة إضافية عند التشغيل	مطلوب	غير مطلوب
ضبط قيمة الـ pH	مطلوب	غير مطلوب
كمية الحمأة المتشكلة	كبيرة	قليلة (أقل 2-3 مرات)
رطوبة الحمأة المتشكلة	مرتفعة جداً	مرتفعة قليلاً
سرعة الترشيح للندف	بطيئة	سريعة
زمن الترسيب	حوالي ساعتين	حوالي ساعة
المساحة اللازمة للتجهيزات	كبيرة	قليلة
مهارة التشغيل	عالية	عادية
كمية الشوارد المنحلة	كبيرة	قليلة
إمكانية التشغيل الآلي	صعب	سهل
استخدامها في الأماكن البعيدة عن المدن	صعب	سهل
كفاءة إزالة الملوثات المختلفة	جيدة	ممتازة

7-6: مؤشرات اقتصادية للمقارنة بين الطريقة التقليدية والطريقة الجديدة في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي [60-3]:

7-6-1: استخدام صفائح من الفولاذ:

7-6-1-1: تحديد تركيز الفولاذ المنحل dissolved metal:

تم تحديد تركيز المعدن المنحل انطلاقا من قانون فاراداي:

- إن علاقة حساب تركيز المعدن المنحل بالنسبة لالكترودات الحديد هي:

$$C = 1.040 \times I \times (p-1) \times t / v \qquad (7\text{-}1)$$

C : تركيز المعدن المنحل (mg/L).

I : شدة التيار الكهربائي المطبقة (3A).

P : عدد الصفائح المعدنية المستخدمة (2).

t : زمن المكوث ضمن المفاعل (0.05h).

V: حجم المياه المعالجة ($0.002\ m^3$).

من أجل التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب الفولاذ، نختار القيمة المثلى لشدة التيار I=3A وزمن تطبيق التيار الكهربائي t = 3 min حيث كانت فاعلية التخثير هي الأفضل عند هذه القيم لشدة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي (عكارة المياه الخام المستخدمة في المثال هي 140 NTU).

$$C = 1.040 \times 3 \times (2-1) \times (3/60) /(2/1000)$$

$$C = 78\ mg/l = 0.078\ kg/m^3$$

وبافتراض إن سعر الكيلوغرام من صفائح الفولاذ هو 150 ل.س فيكون ثمن المعدن المستهلك لمعالجة $1\ m^3$ من المياه:

$$0.078 \times 150 = 11.7\ s.p/m^3$$

7-6-1-2: تحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة electrical energy consumption:

تم تحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من أجل المياه الخام ذات قيمة الأملاح المنحلة الكلية 1000 mg/l من العلاقة:

$$E = (I \times U \times t) / v \qquad (7\text{-}2)$$

E : كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة ($w.h/m^3.H_2O$).

I : شدة التيار الكهربائي المطبقة (3 A).

U : فرق الكمون (23.1 V).

t : زمن المكوث ضمن المفاعل (0.05 h).

V : حجم المياه المعالجة ($0.002\ m^3$).

كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة عند شدة التيار I = 3A وزمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير t = 3 min حيث كانت فاعلية التخثير هي الأفضل عند هذه القيم.

E = (3 x 23.1 x 3/60) / (2/1000)

E = 1733 wh/m^3.H_2O = 1.73 kwh/m^3.H_2O

وبافتراض أن سعر الكيلو واط الساعي هو 6 ليرات. فتكون كلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة لمعالجة $1\ m^3$ من المياه :

1.73 x 6 = 10.38 s.p

إذاً تكون كلفة متر مكعب واحد من المياه باستخدام طريقة التخثير الكهربائي هي:

ثمن الطاقة + ثمن المعدن **11.7 + 10.38 = <u>22.1 s.p/m^3</u>**

تحسب كلفة المعالجة الكيميائية ممثلة باستهلاك المواد الكيميائية عند استخدام ملح بلورات $FeCl_3.6H_2O$ ثلاثي كلوريد الحديد المائي كما يلي:

إذا كان تركيز المعدن المنحل اللازمة للمعالجة 78 mg/L، فمعنى ذلك أن كمية ملح ثلاثي كلوريد الحديد المائي اللازمة في حالة المعالجة بالتخثير الكيميائي تحسب:

$$FeCl_3.6H_2O \rightarrow Fe^{3+}$$

270.5 g	**56 g**
X	**78 mg**

***X*= (270.5*78)/56 = 377 mg**

إذاً كل 78 mg من المعدن يقابلها 377 mg من ملح بلورات ثلاثي كلوريد الحديد المائي. وبالتالي تكون كمية الملح المستهلكة لمعالجة $1m^3$ من المياه هي:

377 mg/l = 0.377 kg/m^3

ثمن واحد كيلو غرام من الملح = 110 ليرة سورية وبالتالي سعر الملح المستهلك :

110*0.377 = <u>41.5 s.p/m^3</u>

نلاحظ أن تكلفة المادة المخثرة اللازمة للمعالجة باستخدام طريقة التخثير الكيميائي تزيد ضعف تكلفة معدن الفولاذ المستهلك عند تطبيق التخثير الكهربائي.

كما أن التخثير الكهربائي يمكن تشغيله آليا بينما يتطلب التخثير الكيميائي وجود اختصاصي لتحديد تركيز المخثرات المطلوب إضافتها، وتوفير المحاليل اللازمة للمعالجة الكيميائية.

كما أن كمية الحمأة والرواسب الناتجة عن التخثير الكهربائي اقل من حالة المعالجة بالتخثير الكيميائي، وكذلك نوعية الحمأة والرواسب تكون أفضل. وبالتالي فإن تكلفة معالجة الحمأة والرواسب الناتجة عن استخدام التخثير الكهربائي في المعالجة تكون أقل.

7-6-2: استخدام صفائح من الحديد:

7-6-2-1: تحديد تركيز الحديد المنحل dissolved metal:

تم تحديد تركيز المعدن المنحل انطلاقا من قانون فاراداي:

- إن علاقة حساب تركيز المعدن المنحل بالنسبة لالكترودات الحديد هي:

$$C = 1.040 \times I \times (p - 1) \times t / v \qquad (7\text{-}3)$$

C : تركيز المعدن المنحل (mg/L).

I : شدة التيار الكهربائي المطبقة (3 A).

P : عدد الصفائح المعدنية المستخدمة (2).

t : زمن المكوث ضمن المفاعل (0.05h).

V: حجم المياه المعالجة ($0.002\ m^3$).

من أجل التخثير الكهربائي باستخدام أقطاب الحديد، نختار القيمة المثلى لشدة التيار I=3A وزمن تطبيق التيار الكهربائي t = 3 min حيث كانت فاعلية التخثير هي الأفضل عند هذه القيم لشدة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي (عكارة المياه الخام المستخدمة في المثال هي 140 NTU).

$$C = 1.040 \times 3 \times (2 - 1) \times (3/60) / (2/1000)$$

$$C = 78\ mg/l = 0.078\ kg/m^3$$

وبافتراض إن سعر الكيلوغرام من صفائح الحديد هو 40 ل.س فيكون ثمن المعدن المستهلك لمعالجة $1\ m^3$ من المياه:

$$0.078 \times 40 = 3.12\ s.p/m^3$$

7-6-2-2: تحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة electrical energy consumption:

تم تحديد كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة من أجل المياه الخام ذات قيمة الأملاح المنحلة الكلية 1000 mg/l من العلاقة:

$$E = (I \times U \times t) / v \qquad (7\text{-}4)$$

E : كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة ($w.h/m^3.H_2O$).

I : شدة التيار الكهربائي المطبقة (3 A).

U : فرق الكمون (24.1 V).

t : زمن المكوث ضمن المفاعل (0.05 h).

V : حجم المياه المعالجة ($0.002\ m^3$).

وتكون كمية الطاقة الكهربائية المستهلكة عند شدة التيار I = 3 A وزمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير t = 3 min حيث كانت فاعلية التخثير هي الأفضل عند هذه القيم.

E = (3 x 24.1 x 3/60) / (2/1000)

E = 1808 kwh/m^3.H_2O = 1.81 kwh/m^3.H_2O

وبافتراض أن سعر الكيلو واط الساعي هو (6) ليرات.

فتكون كلفة الطاقة الكهربائية المستهلكة لمعالجة $1\ m^3$ من المياه :

1.81 x 6 = 10.86 s.p

إذاً تكون كلفة متر مكعب واحد من المياه باستخدام طريقة التخثير الكهربائي هي:

ثمن الطاقة + ثمن المعدن **3.12 + 10.86 = 14.0 s.p/m^3**

تحسب كلفة المعالجة الكيميائية ممثلة باستهلاك المواد الكيميائية عند استخدام ملح بلورات $FeCl_3.6H_2O$ ثلاثي كلوريد الحديد المائي كما يلي:

إذا كان تركيز المعدن المنحل اللازمة للمعالجة 78 mg/L، فمعنى ذلك أن كمية ملح ثلاثي كلوريد الحديد المائي اللازمة في حالة المعالجة بالتخثير الكيميائي تحسب:

$FeCl_3.6H_2O$	**→ Fe^{3+}**
270.5 g	**56 g**
X	**78 mg**

***X*= (270.5*78)/56 = 377 mg**

إذاً كل 78 mg من المعدن يقابلها 377 mg من ملح بلورات ثلاثي كلوريد الحديد المائي.

وبالتالي تكون كمية الملح المستهلكة لمعالجة $1m^3$ من المياه هي:

377 mg/l = 0.377 kg/m^3

ثمن واحد كيلو غرام من الملح = 110 ليرة سورية وبالتالي سعر الملح المستهلك :

110*0.377 = 41.5 s.p/m^3

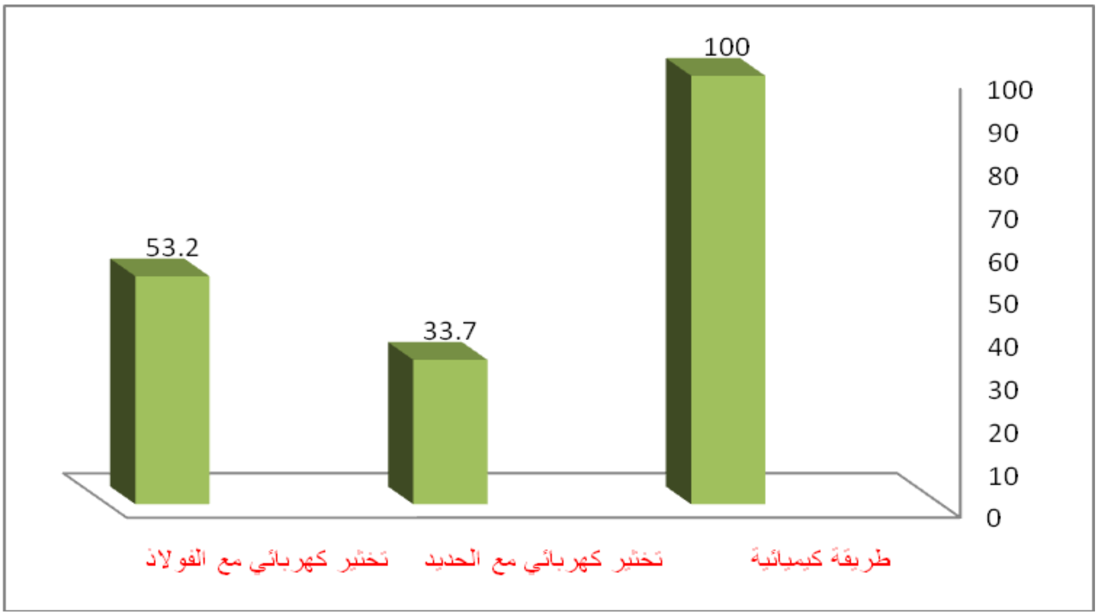
نلاحظ أن تكلفة المادة المخثرة اللازمة للمعالجة باستخدام طريقة التخثير الكيميائي تزيد على ثلاثة أضعاف عن تكلفة معدن الحديد المستهلك عند تطبيق التخثير الكهربائي.
كما أن التخثير الكهربائي يمكن تشغيله آليا بينما يتطلب التخثير الكيميائي وجود اختصاصي لتحديد تركيز المخثرات المطلوب إضافتها، وتوفير المحاليل اللازمة للمعالجة الكيميائية.

كما أن كمية الحمأة والرواسب الناتجة عن التخثير الكهربائي اقل من حالة المعالجة بالتخثير الكيميائي، وكذلك نوعية الحمأة والرواسب تكون أفضل. وبالتالي فإن تكلفة معالجة الحمأة والرواسب الناتجة عن استخدام التخثير الكهربائي في المعالجة تكون أقل.

الجدول (7–38) المقارنة الاقتصادية بين طريقتي المعالجة التقليدية الكيميائية والجديدة باستخدام التخثير الكهربائي لمياه تغذية وحدة تحلية المياه.

	طريقة المعالجة الكيميائية	طريقة المعالجة بالتخثير الكهربائي			
المادة المستخدمة	ملح ثلاثي كلور الحديد	الكهرباء كيلوواط ساعي	صفائح الحديد	الكهرباء كيلوواط ساعي	صفائح الفولاذ
سعر 1 كلغ (ل.س)	110	6	40	6	150
الكمية اللازمة لمعالجة 1 م^3 من المياه	0.377 كغ	1.73	0.078 كغ	1.73	0.078 كغ
تكلفة المعالجة (ل.س)	41.5	10.86	3.12	10.38	11.7
إجمالي التكلفة (ل.س)	41.5	14.0		22.1	
النسبة المئوية للتكلفة	**100%**	**%33.7**		**%53.2**	

ويمثل الشكل (7–27) مقارنة التكلفة النسبية لطرق معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي.



الشكل (7-27) مقارنة التكلفة النسبية لطرق معالجة مياه تغذية وحدة الـ RO.

نلاحظ من الجدول (7-38) والشكل (7-27) أن تكلفة معالجة المياه بالطريقة الجديدة بالتخثير الكهربائي بأقطاب فولاذية تعادل نصف التكلفة بالمعالجة التقليدية بينما تعادل تكلفة المعالجة بالطريقة الجديدة بالتخثير الكهربائي بأقطاب الحديد تعادل حوالي الثلث.

7-7: مقارنة مؤشرات التوسخ بين الطريقتين القديمة والجديدة في المعالجة:

لاحظنا في الطريقة التقليدية لمعالجة مياه تغذية وحدة تحلية المياه أن مؤشرات توسخ غشاء التحلية كانت مرتفعة. حيث وجدنا ما يلي:

1- لقد زاد فرق الضغط في الطريقة التقليدية على الطريقة الجديدة في المعالجة بنسبة: 64%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريق الجديدة.

2- لقد زاد دليل كثافة الطمي في الطريقة التقليدية على الطريقة الجديدة في المعالجة بنسبة: 52%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريقة الجديدة. بينما في الطريقة التقليدية فإن عمر الغشاء سيكون مساوياً نصف عمره مقارنة مع الطريقة الجديدة. فإذا افترضنا أن العمر الافتراضي للغشاء ثلاث سنوات، فسوف ينخفض العمر إلى سنة ونصف في طريقة المعالجة التقليدية بسبب ارتفاع دليل كثافة الطمي.

3- لقد زادت كمية الأملاح المنحلة في الطريقة التقليدية على الطريقة الجديدة في المعالجة بنسبة: 60%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء في الطريق الجديدة. بينما في الطريق التقليدية فإن توسخ الغشاء ساهم في زيادة كمية الأملاح المتسربة مع المياه المنتجة.

4- لقد كانت كمية المياه المنتجة في الطريقة الجديدة أكبر من الكمية المنتجة وفق الطريقة التقليدية في المعالجة بنسبة: 15%. وهذا يدل على نظافة الغشاء وعدم تراكم الأوساخ على سطح الغشاء

في الطريق الجديدة. بينما في الطريق التقليدية فإن توسخ الغشاء ساهم في انخفاض كمية المياه المنتجة.

5- نلاحظ أنه في كلا الطريقتين التقليدية والجديدة أن نسبة الحديد المنحل كانت أقل من 0.1 mg/l، أي ضمن الحد المسموح به لدخول الحديد للغشاء وهذا دليل على فاعلية البيرم.

6- من الناحية الاقتصادية إن تكلفة استبدال الأغشية في الطريقة التقليدية وبسبب قصر عمره الافتراضي للنصف حيث زاد الـ SDI 52%، ستكون ضعف تكلفتها في الطريقة الجديدة في معالجة مياه تغذية وحدة التحلية بالتناضح العكسي.

ويوضح الجدول (7-39) مؤشرات توسخ غشاء التحلية بين طريقتي المعالجة التقليدية والجديدة لمياه تغذية وحدة تحلية المياه.

الجدول (7-39) مؤشرات توسخ غشاء التحلية بين طريقتي المعالجة التقليدية والجديدة لمياه تغذية وحدة تحلية المياه بعد مرور عام على تشغيلها.

مؤشر التوسخ	الطريقة الجديدة	الطريقة التقليدية	نسبة الفرق بين الطريقتين %
△P (bar)	0.55	0.90	%64
SDI (%/min)	2.6	3.95	%52
TDS (mg/l)	30	48	%60
كمية المنتج (l/hr)	7.0	6.1	%15
كمية Fe^{2+} المنحل في مياه التغذية #	أقل من 0.1 ppm	أقل من 0.1 ppm	المسموح به 4.0 ppm
كمية Fe^{3+} المنحل في مياه التغذية #	أقل من 0.05 ppm	أقل من 0.05 ppm	المسموح به 0.05 ppm
كمية الألمنيوم المنحل في مياه التغذية #	0.0 ppm	0.0 ppm	المسموح به 0.05 ppm

المرجع: [7,8] .

لذلك تعتبر الطريقة الجديدة في معالجة مياه التغذية أقل تكلفة من المعالجة التقليدية وذات نتائج أفضل في كمية وجودة المياه المنتجة من وحدة التحلية، إضافة إلى إطالة عمر الغشاء والحد من توسخه وهو الهدف الرئيسي من الدراسة.

الإستنتاجات

Conclusions

يعتبر التخثير الكهربائي طريقة فعالة وخياراً بديلاً في معالجة المياه. لقد تم في هذا البحث دراسة تقنية التخثير الكهربائي لإزالة المواد المعلقة والغرويات والعكارة من المياه المغذية لوحدة تحلية المياه بالتناضح العكسي. تعتمد تقنية التخثير الكهربائي على تقديم معدن القطب الموجب (المصعد) للماء كجرعات بشكل كهروكيميائي. لقد تم التحكم بعدة متغيرات رئيسية مثل الـ pH للوسط وكثافة التيار وزمن تطبيق التيار الكهربائي، وذلك بهدف الوصول للقيم المثلى لأكبر إزالة ممكنة للمواد المعلقة والغروية والعكارة.

إن مياه التغذية المدروسة في مرحلة التخثير الكهربائي مأخوذة من آبار شركة زيزون لتوليد الطاقة الكهربائية (جسر الشغور – محافظة ادلب) وهي ذات درجة ملوحة بحدود 1000 mg/l، ولقد تم تحضيرها بإضافة البيلون Clay الحلبي للوصول إلى عكارة 20–140 NTU. أما بالنسبة لشدة التيار المستخدمة فقد كانت ضمن المجال 1.0–3.5 أمبير، و زمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير الكهربائي ضمن المجال 1 – 5 دقيقة.

لقد أظهرت النتائج أن القيمة المثلى لشدة التيار الكهربائي 2.5 أمبير عند زمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير الكهربائي ثلاث دقائق وكانت نسبة إزالة العكارة 98 %. كما أن عملية التخثير الكهربائي كانت شبه حيادية تجاه قيمة الـpH أما بالنسبة لملوحة المياه المعالجة فانخفضت بشكل بسيط.

وتعتبر المواد الصلبة المعلقة والمواد الغروية في مياه التغذية إحدى أكبر المشاكل التي تحدث في منظومات التناضح العكسي. وبالرغم من أن معظم منظومات التناضح العكسي تملك معالجة أولية من ضمنها فلتر بمسام 5 ميكرون إلا أن الجزيئات الأصغر هي التي تسبب توسخ الأغشية. إن قيمة الـ SDI تكون مطلوبة أن تكون < 3 %/دقيقة بسبب طبيعة المواد الصلبة المعلقة في مياه التغذية. كما أنه مطلوب من أجل ضمان الأغشية من قبل البائع.

تم في هذه الدراسة المقارنة بين نوعين من المعالجة الأولية لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي وتأثيرها على كفاءة الوحدة. طريقتا المعالجة هما الطريقة التقليدية في المعالجة والثانية باستخدام

التخثير الكهربائي كمرحلة رئيسية في المعالجة الأولية لمياه تغذية وحدة التناضح العكسي ذات الميول المرتفع لتوسيخ الأغشية.

إن مياه التغذية المدروسة في مرحلة دراسة كفاءة وحدة تحلية المياه مأخوذة من آبار في محافظة ادلب، وكانت درجة ملوحتها مناسبة لوحدة تحلية المياه المستخدمة في التجارب وهي ذات درجة ملوحة بحدود 500 mg/l ، ولقد تم تحضيرها بإضافة البيلون Clay الحلبي للوصول إلى عكارة 10 NTU. أما بالنسبة لشدة التيار المستخدمة فقد كانت ضمن المجال 0.25–2.0 أمبير، و زمن تطبيق التيار الكهربائي في مفاعل التخثير الكهربائي ضمن المجال 1 – 5 دقيقة.

أظهرت النتائج التجريبية أن نسبة إزالة العكارة تزداد مع زيادة شدة التيار، وتكون القيمة المثلى عند شدة تيار 1.5 أمبير وزمن تطبيق التيار في مفاعل التخثير ثلاث دقائق. حيث كانت نسبة الإزالة للعكارة أكثر من 98%. ولا حاجة لزيادة شدة التيار أكثر من ذلك لأنه سيكون غير اقتصادي بسبب استهلاك كمية كبيرة من الكهرباء والمعدن دون مردود مقبول. وبما أن الحديد يصدأ بسرعة في الماء لذلك اعتمدنا هنا أقطاب الفولاذ رغم ارتفاع سعرها بالمقارنة مع الحديد إلا أنها لا تصدأ وبالتالي لا تشكل تهديداً لأغشية تحلية المياه مثل الحديد الذي يصدأ وينحل بسرعة ويعطي كمية كبيرة من شوارد الحديد التي تهاجم أغشية تحلية المياه وتسبب توسخها وتلفها. كما ينبغي إضافة فلتر فحم خاص من نوع البيرم بعد وحدة التخثير الكهربائي لإزالة أي آثار لشوارد الحديد يمكن أن تكون موجودة في المياه المعالجة قبل دخولها لأغشية تحلية المياه بالتناضح العكسي لأنها شديدة التأثر بشوارد الحديد وتسبب تخريبها.

كما أظهرت النتائج أن الطريقة الجديدة في المعالجة قد أعطت قيماً أقل لدليل كثافة الطمي الـ SDI مع تفوق واضح على الطريقة التقليدية، حيث وصلت قيم الـ SDI إلى 1.4– 2.6 %/min بينما كان دليل كثافة الطمي في الطريقة التقليدية الـ SDI إلى 2.6– 3.95 %/min علماً أن دليل كثافة الطمي لمياه التغذية الخام بحدود SDI = 40 %/min. إن انخفاض قيم دليل كثافة الطمي الـ SDI مؤشر رئيسي على ازدياد كفاءة وحدة التناضح العكسي وانخفاض عدد مرات استبدال واستهلاك الفلاتر الميكرونية. وكذلك انخفاض عدد مرات غسيل الأغشية. والعنصر المهم الرئيسي هو إطالة عمر الغشاء وتخفيض استهلاكه للحد الأدنى.

إن إضافة مرحلة التخثير الكهربائي مع مرشح مادة البيرم في معالجة مياه تغذية وحدة التناضح العكسي له تأثير إيجابي كبير في تحسين فاعلية وكفاءة الوحدة وإطالة عمر الغشاء.

التوصيات والمقترحات

Recommendations and Proposals

1- نوصي بالتوسع في دراسة التخثير الكهربائي خاصة من حيث تصميم مفاعل التخثير بطرق مختلفة للوصول إلى فاعلية عالية له تمكّن من استخدامه في معالجة مياه تغذية محطات التناضح العكسي والتي اصبحت منتشرة بكثرة في القطر. حيث يعتبر التخثير الكهربائي أقل تكلفة من الطرق التقليدية في المعالجة. وقد أشرنا في هذه الدراسة لهذا الموضوع بعد أن توصلنا إلى نتائج جيدة في استخدامه لكن استخدامه بشكل منفرد لا يعطي النتائج المرجوة لمعالجة مياه تغذية محطات التناضح العكسي، بل يعتبر خطوة أولية قبل الفلاتر الميكرونية من نوع Cartridge filter، لذلك يحتاج هذا الموضوع للمتابعة في أبحاث أخرى.

2- نقترح على الجهات الرسمية المختصة بشؤون حماية البيئة اعتماد طريقتنا في هذا البحث لمعالجة مياه تغذية محطة التناضح العكسي، وذلك كون هذه الطريقة سهلة وعملية واقتصادية وقد أعطت نتائج الواقع العملي الدليل على فاعلية هذه الطريقة في معالجة عينات مختلفة من مياه تغذية وحدة التناضح العكسي. مع ضرورة دراسة الجدوى الاقتصادية لشروط التشغيل المعتمدة لهذه الطريقة.

3- بناءاً على النتائج السابقة نوصي جميع الشركات والمصانع وغيرها ممن يستخدمون محطات التناضح العكسي باستخدام الطريقة الجديدة المقترحة باستخدام التخثير الكهربائي بأقطاب فولاذية عيار 304 مع الطريقة التقليدية في معالجة مياه تغذية محطات التناضح العكسي. ونخص بالذكر هنا شركة توليد الطاقة الكهربائية في زيزون، وكذلك شركة توليد الطاقة الكهربائية في الزارة وغيرها، والتي تستخدم كميات كبيرة من المياه السطحية والجوفية. والتي غالباً تكون المياه الخام فيها بحاجة كبيرة للمعالجة الأولية.

SUMMARY

This research is undertaken to investigate the use of EC as an effective alternative for treating underground water to obtain treated water free of suspended solids, turbidity and colloids which is suitable after filtration to feed water desalination plants by RO.

Desalination plants by reverse osmosis suffer from fouling of membranes. Fouling is a result of the formation of a layer on the membranes which causes a concentration polarization due to oversaturation. This creates a high pressure drop and reduces the flow through the membranes. So it is essential to treat the feed water to RO plants to remove colloidal and suspended matter and to disinfect the microorganisms which causes fouling by biological growth. Conventional feed water treatment consisted of filtration on 5 micron filters and disinfection by chlorine. But particles smaller than 4 microns cause fouling and membranes are sensitive to chlorine so it is essential to remove the residual chlorine.

Electro-coagulation became a proven and effective method for water treatment. It represents a new alternative for treating water because of its high efficiency in removing large number of pollutants. With the advance in technology and the trend for smaller electrical equipment. Many researches were undertaken by several workers to study the efficiency of this method in treating surface water and waste water.

Natural and waste water contain dissolved matters, suspended matter and colloidal particles. Colloidal particles are difficult to remove since it is stable and this complicates water treatment. It requires a deep understanding of colloidal systems. Since feed water for reverse osmosis units must have specific properties and should be nearly free from turbidity and suspended matter, it must be subjected to special treatment which requires a great attention of water pre- treatment.

One of the most indicators of the suitability of feed water for reverse osmosis plants is Silt Strength Index SDI which should always be less than 3%/min. The method to measure SDI is by passing 500 ml of feed water under a pressure of 30 psi through a 0.45 µm filter and to note the time t_1 needed to pass the filter. After 15 minutes the time taken for the same quantity of water to pass through the filter t_2 is measured and SDI is calculated from this relationship:

$$SDI = 100*(1- t_1/ t_2)/15$$

Conventional pretreatment of feed water to reverse osmosis plants consists of physical treatment where water is passed through sand and carbon micro filters to remove suspended matters and pollutants and prevent precipitation of microorganisms and its growth on membranes.

It also includes chemical treatment where chemicals such as acids are added to control pH and the chlorine for disinfection and chemicals to prevent precipitation of calcium and magnesium salts and to remove oxidant matters. The choice and arrangement of flow sheet for desalination plant depends on the type of water and the specifications of the water product. This is also dependent on the technical and economic choice of the possible units for the required treatment.

Electro–coagulation is an effective method for water treatment where anode gives iron ions into water electrochemically in doses. These ionic reactions are accompanied release of hydrogen bubbles on the cathode. One of the most important advantages of EC treatment is that the salt content of feed water to desalination plants is not increased. This goes well with the growing need for small and local water treatment plants. EC can be used in the future for treating feed water to desalination plants and specially those using the RO technology which face great difficulties in using conventional water pretreatment.

One of the more common methods of treating polluted water has been to dose it with chemical coagulating agents, such as aluminum sulphate and ferric chloride. The metal ions agglomerate the pollutants, causing them to either sink to the bottom or become sufficiently large that they can be filtered out, or floated out using dissolved air flotation. One of the difficulties associated with this process is that the ionic content of the water is increased by the addition of these salts. Thus although the metal ions are removed during the process, the salt content of the water has been greatly increased, often preventing the ability of the water to be used for recycling or other applications. One method of overcoming this has been to use a process known as electro coagulation, in which the metal ions are added electrolytically. In electro coagulation, sacrificial electrodes are used and the passage of an electric current through the water from the electrodes causes the metal to go into solution as the ions, via the anode reactions :

$$Fe - 3e^{-} \longrightarrow Fe^{3+} \quad (1)$$

At the cathode, the reaction is more typically

$$2H_2O + 2e^{-} \longrightarrow 2(OH)^{-} + H_2 \quad (2)$$

In this manner, the same effect is achieved as would be done using chemical dosing, but without the addition of any anions, leaving the residual salinity of the water practically unaltered. The cathode reaction results in a slight increase in the pH of the treated water, usually about 1 pH unit, depending upon the starting pH and the degree of treatment required. The pollutants are then removed in a similar manner to that associated with chemical coagulation, namely filters, settling or similar.

Electro coagulation EC is becoming a popular process to be used for water treatment. The process involves the application of an electric current to sacrificial electrodes inside a reactor tank. The current generates a flocculating or coagulating agent as well as gas bubbles. The coagulating agent combines with the pollutants and the assembly is captured by the rising gas bubbles, resulting in most of the pollutant floating to the surface. In many cases, that which does not rise to the surface sinks to the bottom, from where it can be removed. This technique has been available for a number of years, but has had the disadvantage that the electrode lifetime was small, before they clogged.

The development of proprietary electrode and power supply technology has enabled this problem to be overcome and electrodes are now being used until they have sacrificed almost all their material. This technology has been incorporated into batch processing reactors, which have been installed into agricultural and industrial applications. In these applications, the process has removed most suspended solids down to and including large dissolved molecules, bacteria, algae and other materials. Removal rates are typically greater than 98% for those materials that it can remove.

The removal of TSS and turbidity by EC using Stainless Steel 304 and iron electrode material for well water of Reverse Osmosis plant feed was investigated in this paper. Several working parameters, such as pH,

current density, and operating time were studied in an attempt to achieve a higher removal capacity. Water sample was made from clay powder with initial turbidity of 20-140 NTU. Current density was varied from 1.5 to 3.5 A, and operating time of between 1 and 5 minutes. The results show that the effluent water was very clear. The removal efficiencies of turbidity were high, being more than 98%. In addition, the experimental results also show that the electro coagulation can neutralize pH of wastewater.

Pretreatment of the raw water is provided to remove suspended solids that might foul the RO membranes, and to disinfect the raw water for inactivation of microbes. Because the RO membranes used most commonly today are sensitive to oxidation by chlorine, any residual chlorine must be removed prior RO membrane treatment. A pretreated water quality with Silt Density Index SDI below 3 is required to ensure warranty guarantees from the RO vendors.

The objective of this study was to assess and compare conventional pre-treatment and electro coagulation efficiency prior to RO for the desalination of well water with high-fouling tendency. The pilot plant pre-treatment processes both yielded good SDI reduction rates. SDI levels of 1.4 to 2.6 %/min were achieved by compact pre-treatment processes with incoming raw water SDI levels of 40%/min.

Electro coagulation appears to handle a wider range of pollutants than any other single technique. Capital and operating costs are low. With the Electro pure water treatment system, the same basic equipment can be used to handle a wide range of pollutants. Some minor modifications may be required for different pollutant types. In most cases, the reaction is contained within the system.

These low SDI values indicate that for a full scale plant there will be a lower cartridge consumption, lower membrane cleaning frequency, and lower membrane replacements rates.

المراجع :

1- Holt, P.K., Barton, G. W., and Mitchell, C. A. 2005. The Future for Electro coagulation as Localised Water Treatment Technology. Chemosphere, 59: 355 – 367.

2- M. Luo and Z. Wang, (2001). Complex Fouling and Cleaning-in-Place of a Reverse Osmosis Desalination System. Desalination, Vol. 141, Pages 1-15.

3- قصير أحمد، بنود عبد الحكيم، سليمان تغريد، 2004 م – استخدام طريقة التخثير الكهربائي في تنقية المياه السطحية دراسة حالة سد بللوران. جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، 92 صفحة.

4- مخيمر، سامر، 1992. من تكنولوجيا تحلية المياه التحلية بواسطة الأغشية. العلم والتكنولوجيا – عدد 38، صفحات 33−37.

5- U. S. Department of the Interior Desalination Research and Development Program Bureau of Reclamation. Final Report September 13, 2000. Polyamide Reverse Osmosis Membrane Fouling and Its Prevention: Oxidation-Resistant Membrane Development, Membrane Surface Smoothing and Enhanced Membrane Hydrophilicity. Separation Systems Technology, Inc.

6- الكسابرة، رامية. 2003. دراسة نظرية لمعالجة المياه الملوثة باستخدام الأغشية نصف النفوذة. جامعة البعث، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، 110 صفحة.

7- Dow Liquid Separations, January 2004. FILMTEC Reverse Osmosis Membranes. Technical Manual Trademark of The Dow Chemical Company.

8- Dow Liquid Separations, January 2004. FILMTEC Reverse Osmosis Membranes Engineering Information. Technical Manual Trademark of The Dow Chemical Company.

9- David Paul, Abdul Rahman M. Abanmy. 1990. REVERSE OSMOSIS MEMBRANE FOULING - THE FINAL FRONTIER. Ultra Pure Water, vol 7 No 3, pp 25-36.

10- Porter, M.C. Ed., (1990). Handbook of Industrial Membrane Technology. Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A..

11- Chuen - Lain Juang, Dyi-Hwa Tseng, He-Yin Lin. (2007). Membrane processes for water reuse from the effluent of industrial park wastewater treatment plant: a study on flux and fouling of membrane. Desalination. Vol 202 : Pages 302–309.

12- Kai Loon Chen , Lianfa Song, Say Leong Ong and Wun Jern Ng. (2004). The development of membrane fouling in full-scale RO processes. Journal of Membrane Science Vol. 232, Issues 1-2, Pages 63-72.

13- Suhan Kim, Eric M.V. Hoek,. (2007). Interactions controlling biopolymer fouling of reverse osmosis membranes. Desalination, Volume 202: Pages 333–342.
14- L. Dudley, (2003). Combating the Threat of Silica Fouling in RO Plant – Practical Experiences. Desalination & Water Reuse, 12(4), 28.
15- Ismail Koyuncu, Mark R. Wiesner, Cecile Bele, Gabriel Coriton, Malik Djafer and Jacques Cavard. (2006). Bench-scale assessment of pretreatment to reduce fouling of salt-rejecting membranes. Desalination. Volume 197, Issues 1-3,Pages 94-105.
16- J.S. Vrouwenvelder, J. A.M. van Paassen, L.P. Wessels, A.F. van Dam and S.M. Bakker. (2006). The Membrane Fouling Simulator: A practical tool for fouling prediction and control. Journal of Membrane Science Volume 281, Issues 1-2 , Pages 316-324.
17- Sungyun Lee, Suhan Kim, Jaeweon Cho, Eric M.V. Hoek,. (2007). Natural organic matter fouling due to foulant – membrane physicochemical interactions. Desalination 202: 377–384.
18- X. Zhu and M. Elimelech. December 1995. Fouling of Reverse Osmosis Membranes by Aluminum Oxide Colloids. Journal of Environmental Engineering, Pag 884-892.
19- How Y. Ng. (2005). RO membrane solute rejection behavior at the initial stage of colloidal fouling. Desalination Volume 174, Issue 2, Pages 211-217.
20- J.S. Vrouwenvelder and D. van der Kooij, (2001). Diagnosis, prediction and prevention of biofouling of NF and RO membranes. Desalination, Volume 139, Pages 57-65.
21- How Y. Ng and Menachem Elimelech. (2004). Influence of colloidal fouling on rejection of trace organic contaminants by reverse osmosis. Journal of Membrane Science. Vol 244, Issues 1-2, Pages 215-226.
22- Schippers, J.C. and Verdouw, J. (1980). The modified fouling index, a method of determining the fouling characteristics of water. Desalination 32, 137.
23- Peter H. Wolf, Steve Siverns. 2004. The New Generation for Reliable RO Pretreatment. ZENON Environmental Inc.
24- C.F.Wend, P.S.Steward, W.Jones, A.K.Camper (2003). Pretreatment for membrane water treatment systems: a laboratory study. Water Research 37 3367-3378.
25- Lain-Chuen Juang, Dyi-Hwa Tseng, He-Yin Lin. (2007). Membrane processes for water reuse from the effluent of industrial park wastewater treatment plant: a study on flux and fouling of membrane. Desalination. 202: 302–309.
26- Robert Y. Ning, Thomas L. Troyer and Roger S. Tominello. (2005). Chemical control of colloidal fouling of reverse osmosis systems. Desalination. Volume 172,Issue 1,Pag 1-6.

27- Saad, M.A., (2004). Early Discovery of RO Membrane Fouling and Real-Time Monitoring of Plant Performance for Optimizing Cost of Water. Desalination 165, page 183-191.
28- Salah Bouguecha and Mahmoud Dhahbi. (2002). The role of membrane technologies in supplying drinking and industrial water in Tunisia: Conventional process and new trends. INRST, Hammam-Lif, Tunisia . BP 95, 20-50.
29- Christopher J. Gabelich, Tae I. Yun, Kenneth P. Ishida, Menu B. Leddy and Jana Safarik. (2004). The effect of naturally occurring biopolymers on polyamide membrane fouling during surface water treatment. Desalination. Vol 161, Issue 3, Pages 263-276.
30- Sangyoup Lee, Wui Seng Ang and Menachem Elimelech. (2006). Fouling of reverse osmosis membranes by hydrophilic organic matter: implications for water reuse. Desalination Volume 187, Issues 1-3 , Pages 313-321.
31- Boerlage, S.F.E., Kennedy, M, Aniye, M.P. and Schippers, J.C. (2003). Applications of the MFI-UF to measure and predict particulate fouling in RO systems. Journal of Membrane Science,220, 97.
32- Tony Kobilnyk, October 2004 . Ultrafiltration Membranes Provide Stellar Pre-treatment at Tampa Bay Water Desalination Facility. ZENON Environmental Inc.
33- P. Sehn, March 18-20, 2003. Experiences with fouling resistant membranes in combination with intermittent biocide dosage. 9th Aachen Membrane Colloquium, Verlag Mainz, Aachen, ISBN 3-86130-185-7.
34- Technical Service Bulletin July 2006. Foulants and Cleaning Procedures for composite polyamide RO Membrane Elements (ESPA, ESNA, CPA, LFC, and SWC).. Technical Services Department at HYDRANAUTICS 401 Jones Rd. Oceanside, CA 92054.
35- M. Luo and Z. Wang, (2001). Complex Fouling and Cleaning-in-Place of a Reverse Osmosis Desalination System. Desalination, Vol. 141, Pages 1-15.
36- Chen, G. 2004. Electrochemical Technologies in Wastewater Treatment. Separation and Purification Technology, 38: 11 – 41.
37- Kobya, M., Can, O. T., and Bayramoglu, M. 2003. Treatment of Textile Wastewaters by Electro coagulation using Iron and Aluminum Electrodes. Journal of Hazardous Materials, B100: 163–178.
38- Holt . p , Barton. G , Mitchell . c, Nov 1999. Electro coagulation as a waste water treatment. the third annual environmental engineering research event. Pages 23–26.
39- Pathak, S.R. 2003. Design and Optimization of Electro coagulation Reactor. Lamar University: Master Thesis.

40- Dress. k abbaszadegan. m, maier. r, 2003. Comparative electro coagulation inactivation of bacteria and bacteriophage. wat. res uk, vol.37 , pp .2291-2300.
41- Larue, O., Vorobiev, E., Vu, C., and Durand, B. 2003. Electro coagulation and Coagulation by Iron of Latex Particles in Aqueous Suspensions. Separation and Purification Technology, Volume 31:Pages 177 – 192.
42- Vik, E.A., Carlson, D.A., Eikun, A.S. and Gjessing, E.T. (1984). Electro coagulation of potable water. Water Research, Volume 18, 1355–1360.
43- P.K. Holt, G.W. Barton and C.A. Mitchell. 2004. Deciphering the science behind electro coagulation to remove suspended clay particles from water. Water Science and Technology. Volume 50 . No 12. pages177–184.
44- Holt, P.K., Barton, G. W., Wark, M., and Mitchell, C. A. 2002. A Quantitative Comparison between Chemical Dosing and Electro coagulation. Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects, 211: 233 – 248.
45- Mollah, M. Y. A., Schennach, R., Parga, J. R., and Cocke, D. L. 2001. Electro coagulation (EC) – Science and Applications. Journal of Hazardous Materials. B84: 29 – 41.
46- Larue, O., and Vorobiev, E. 2003. Floc Size Estimation in Iron Induced Electro coagulation and Coagulation using Sedimentation Data. International Journal of Mineral Processing, 71: 1 – 15.
47- Daneshvar, N., Oladegaragoze, A., and Djafarzadeh, N. 2006. Decolorization of Basic Dye Solutions by Electro coagulation: an Investigation of The Effect of Operational Parameters. Journal of Hazardous Materials. B129: 116 – 122.
48- Lin, S. H., Shyu, C. T., and Sun, M. C. 1998. Saline Wastewater Treatment by Electrochemical Method. Water Research, 32 (4): 1059 – 1066.
49- Peter K. Holt, Geoffrey W. Barton, Cynthia A. Mitchell. October 2004. The future for electro coagulation as a localized water treatment technology.Chemosphere.1-13. www.elsevier.com/locate/chemosphere.
50- Holt, P.K., Barton, G.W., Mitchell, C.A., 2001. The role of current in determining pollutant removal in a batch electro coagulation reactor. In: 6th World Congress of Chemical Engineering Conference Media CD, Melbourne, Australia.
51- Jiang . jq , graham . n , a ndre . c , kelsall . g h, Brandon . n, 2002. Laboratory study of electro coagulation – flotation for water treatment. wat res uk , vol. 36, no . 6, pp. 4064 – 4078 .
52- Matteson, M. J., Dobson, R. L., Glenn, R. W. Jr., Kukunoor, N. S., Waits III, W. H., and Clayfield, E. J. 1995. Electro coagulation and

Separation of Aqueous Suspensions of Ultrafine Particles. Colloids and Surfaces A, 104: 101 – 109.

53- Chanhyuk Park, Hana Kim, Seungkwan Hong, and Suing-Il Choi. (2006). Variation and prediction of membrane fouling index under various feed water characteristics. Journal of Membrane Science, Volume 284, Issues 1-2 , Pages 248-254.

54- ABUZAID. N, BUKHARI. A, 2003 - Treatment of water turbidity. center for environmental and water research institute, KSA.

55- C. K. Teng, M. N. A. Hawlader and A. Malek,. (2003). An experiment with different pretreatment methods. Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 9 Engineering Drive 1, Singapore 117576 .

56- Mollah, M.Y.A., Morkovsky, P., Gomes, J. A. G., Kesmez, M., Parga, J., and Cocke, D. L. 2004. Fundamentals, Present and Future Perspectives of Electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, B114: 199 – 210.

57- David Norberg, Seungkwan Hong, James Taylor, Yu Zhao,. (2007). Surface characterization and performance evaluation of commercial fouling resistant low-pressure RO membranes. Desalination 202:45–52.

58- Jian-Jun Qin, Maung Htun Oo and Fook-Sin Wong, (2005). Effects of pH and antiscalant on fouling of RO membrane for reclamation of spent rinse water from metal plating. Separation and Purification Technology Volume 46, Issues 1-2, Pages 46-50.

59- Jong-Oh Kim, Jong-Tae Jung, Ick-Tae Yeom, Gyung-Hae Aoh,. (2007). Electric fields treatment for the reduction of membrane fouling, the inactivation of bacteria and the enhancement of particle coagulation. Desalination, Volume 202: Pages 31–37.

60- Donini, J.C., Kan, J., Szynkarczuk, J., Hassan, T.A., Kar, K.L., 1994. Operating cost of electro coagulation. Can. J. Chem. Eng. 72, 1007–1012.

61- T. Griebe, H.-C. Flemming. (1998). Biocide-free antifouling strategy to protect RO membranes from biofouling. Desalination 118, 153-156.

الأبحاث المقبولة للنشر:

1) تأثير المعالجة الأولية لمياه التغذية على كفاءة محطات أغشية التناضح العكسي. (مجلة جامعة تشرين) 2009/11/8.

2) دراسة الأداء الفعال للتخثير الكهربائي باستخدام أقطاب الحديد والفولاذ في إزالة المواد المعلقة والعكارة من المياه. (مجلة جامعة حلب) 2010/5/12.

3) استخدام التخثير الكهربائي للحد من توسخ أغشية التناضح العكسي. (مجلة جامعة حلب) 2010/4/15.

4) مشاركة في المؤتمر الدولي الأول للهندسة الكيميائية. (مجلة جامعة البعث) 2009/11.

5) **Removal of Turbidity and Suspend solids by Electro - coagulation To Improve Feed Water Quality of Reverse Osmosis Plant. (DESALINATION) 11 October 2010.**

SYRIAN ARAB REPUBLIC
AL- BAATH UNIVERSITY
FACULTY OF CHE. & PETRO. ENG.
DEPARTMENT OF CHE. ENG.

LIMITATION OF WATER DESALINATION MEMBRANES FOULING OF REVERSE OSMOSIS

A thesis submitted in partial fulfillment of requirement for the degree of ph. Dr. In Chemical Engineering (Pollution and Environment Protection)

Submitted by
Chem. Eng.
AHMAD FIRAS ALLOUSH

Supervised by

Prof. Dr. Sadeddin Kherfan & Dr. Nassir Alnaif

1432 A.H / 2011 A.D